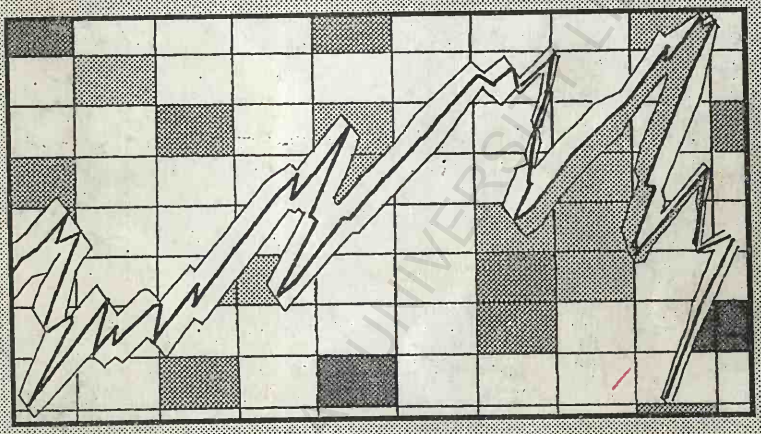
MUZEUL NAȚIONAL DE ISTORIE A ROMÂNIEI
BIBLIOTECA MUZEULUI NAȚIONAL
II

ATTILA LÁSZLÓ
UNIVERSITATEA "AL.I. CUZA" IAȘI



DATAREA PRIN RADIOCARBON ÎN ARHEOLOGIE

II 342.943

BUCUREȘTI
1997

BIBL. CENTR. UNIV.
„M. EMINESCU" IAŞI
II 342. 943

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

MUZEUL NAŢIONAL DE ISTORIE A ROMÂNIEI
BIBLIOTECA MUZEULUI NAŢIONAL

ATTILA LÁSZLÓ
UNIVERSITATEA "AL.I.CUZA" IAŞI

107683

DATAREA PRIN RADIOCARBON ÎN ARHEOLOGIE

EDITOR
DRAGOMIR POPOVICI

BUCUREŞTI
1997

ALE

028335
B.C.U. - IASI

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

ATTILA LÁSZLÓ
UNIVERSITATEA "AL.I.CUZA" IAŞI

DATAREA PRIN RADIOCARBON ÎN ARHEOLOGIE

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Radiocarbon Dating in Archaeology

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Machetă copertă	*Simona Movila*, MNIR
Tehnoredactare pe calculator	*Mariana Petcu*
Desene în tuș	*Aneta Corciovă*
	Universitatea "Al.I.Cuza" Iași
	Facultatea de Istorie
	Seminarul de Istorie Veche și Arheologie
Tipografie	S.A.S. București,
	Calea Victoriei 12.

SUMAR

Radiocarbon Dating in Archaeology. Contents
Cuvânt înainte 7
To the Reader 11
1. 1-9. **Introducere** 13
2. Datarea radiocarbon convenţională 32
2.1. Materiale ce pot fi folosite pentru datare 32
2.2. Dezintegrarea radioactivă 38
2.2.1. Radioactivitatea specifică 39
2.2.2. Timpul de înjumătăţire 40
2.2.3. Etaloane de radioactivitate ^{14}C 43
2.3. Măsurarea radioactivităţii şi datarea 45
2.3.1. Măsurarea radioactivităţii 45
2.3.2. Datarea 49
2.3.3. Deviaţia standard 51
2.3.4. Limita vârstei determinabile 57
2.3.5. Măsurarea unor mostre cu masă redusă 58
2.3.6. Metoda numărării atomilor (tehnica AMS) 59
2.4. Fracţionarea izotopului 67
2.4.1. Fracţionarea izotopului şi fotosinteza 69
2.4.2. Fracţionarea izotopului şi efectul rezervorului dinamic 74
2.4.3. Măsura şi măsurarea fracţionării izotopului 76
2.4.4. Corecţia necesară datorită fracţionării izotopului 81

2.5. Rolul mostrelor în datare 88
2.5.1. 1-3. Conținutul inițial de ^{14}C al mostrelor 89
2.5.2. 1-3. Pretratarea mostrelor 93
2.5.3. 1-5. Reprezentativitatea mostrelor 97
2.5.4. Siguranța asocierii mostrelor cu descoperirile arheologice care urmează a fi datate 102
2.5.5. Diferența de timp între vârsta mostrei și data îngropării 103
2.5.6. Efectul contaminării mostrei asupra datărilor radiocarbon 104
2.5.7. Credibilitatea datării 106
2.5.8. Deosebiri între laboratoare în ceea ce privește studiul mostrelor 107
2.5.9. Valabilitatea datelor radiocarbon medii și individuale. Mostre mai vechi și mai recente. Dispersarea datelor 109
2.6. Despre acuratețea datărilor radiocarbon 113
3. Calibrarea datelor radiocarbon 128
3.1. Oscilațiile naturale ale concentrației ^{14}C 128
3.1.1. Introducere 128
3.1.2. 1-5. Principalele tendințe ale oscilațiilor concentrației ^{14}C a atmosferei terestre. Fluctuații pe termen lung, mijlociu și scurt 130
3.2. Transformarea datelor radiocarbon convenționale în date calendaristice 160
3.2.1. Introducere 160
3.2.2. 1-3. Primele curbe de calibrare (metoda lui H.E.Suess, sistemul MASCA, procedeul lui P.E. Damon și colab.) 162

3.2.3. Sisteme de calibrare mai recente 175
3.2.3.1. Introducere 175
3.2.3.2. Curba lui M. Stuiver 178
3.2.3.3. Curba lui G.W. Pearson şi colab. 187
3.2.3.4. Procedeul lui W.G.Mook şi colab. 190
3.2.3.5. Tabelul de corecţie al grupului de la Tucson 198
3.2.4. Procedee de calibrare recomandate de comunitatea ştiinţifică internaţională. Extinderea curbei de calibrare. Versiuni computerizate ale procedeelor de calibrare 206
3.2.4.1. Introducere 206
3.2.4.2. Calibrarea de înaltă precizie a scalei de timp radiocarbon AD 1950-2500 BC, elaborată de G.W.Pearson şi M. Stuiver 208
3.2.4.3. Curba de calibrare decadală, elaborată de M. Stuiver şi B.Becker 215
3.2.4.4. Calibrarea datelor radiocarbon anterioare mijlocului mileniului al III-lea BC 217
3.2.4.5. Versiuni computerizate ale procedeelor de calibrare 221
4. 1-6. **Câteva recomandări practice** 231
5. 1-8. **Spre o cronologie radiocarbon a preistoriei României. Listă de date C-14** 237
6. **Încheiere** 266
Laboratoare radiocarbon 271
Bibliografie 295

RADIOCARBON DATING IN ARCHAEOLOGY
CONTENTS

Foreword 7
To the Reader 11
1.1-9. **Introduction** 13
2. Conventional radiocarbon dating 32
2.1. Materials suitable for radiocarbon dating 32
2.2. Radioactive decay 38
2.2.1. Specific radiocarbon activity 39
2.2.2. Radiocarbon half-life 40
2.2.3. Modern standards for determining ^{14}C activity 43
2.3. Measuring radiocarbon activity and dating 45
2.3.1. Measuring techniques for radioactive decay rate 45
2.3.2. Dating 49
2.3.3. Standard deviation 51
2.3.4. Limitations in age determination 57
2.3.5. Measurement of small sample sizes 58
2.3.6. The accelerator mass spectrometry (AMS) technique . . 59
2.4. Isotope fractionation 67
2.4.1. Isotope fractionation and photosynthesis 69
2.4.2. Isotope fractionation and reservoir effect 74
2.4.3. Degree and measurement of isotope fractionation 76
2.4.4. Necessary corrections for isotope fractionation 81
2.5. Importance of sample quality in radiocarbon dating 88
2.5.1. 1-3. The original ^{14}C content of samples 89
2.5.2. 1-3. Pretreatment of the samples 93

2.5.3. 1-5. Representativeness of the samples 97
2.5.4. The degree of certainty of association of the samples with the archaeological context 102
2.5.5. Time difference between sample age and date of deposition and association with the archaeological context 103
2.5.6. Effect of contamination and admixture of samples with younger and/or older material 104
2.5.7. Reliability of radiocarbon dating 106
2.5.8. Differences among laboratories in sample treatment and dating 107
2.5.9. The validity of median and individual radiocarbon dates. Older and more recent samples. Distribution of dates 109
2.6. On the accuracy of radiocarbon dating 113
3. Calibration of radiocarbon dates 128
3.1. Natural oscillations in ^{14}C concentration 128
3.1.1. Introduction 128
3.1.2. 1-5. The main trends in variations of the ^{14}C concentration in atmospheric CO_2. Long -, medium - and short - term fluctuations 130
3.2. The conversion of conventional radiocarbon dates into calendrical dates 160
3.2.1. Introduction 160
3.2.2. 1-3. The first calibration curves. The method of H.E. Suess, the MASCA system, the procedure of P.E. Damon et al. 162
3.2.3. More recent calibration systems 175
3.2.3.1. Introduction 175
3.2.3.2. The curve of M. Stuiver 178

3.2.3.3. The curve of G.W. Pearson et al. 187
3.2.3.4. The method of W.G. Mook et al. 190
3.2.3.5 The conversion tables of the Tucson group 198
3.2.4. Internationally recommended calibration methods. Extension of the calibration curves. Computerized versions of the conversion process 206
3.2.4.1. Introduction 206
3.2.4.2. High - precision calibration of the radiocarbon time-scale AD 1950-500 BC of M. Stuiver and G.W. Pearson; 500-2500 BC of G.W.Pearson and M. Stuiver, recommended by the International Radiocarbon Conference, Trondheim, 1985 208
3.2.4.3. The decadal calibration curve for the AD 1950-2500 BC interval of M. Stuiver and B.Becker 215
3.2.4.4. Calibration of older radiocarbon dates (2500 BC and earlier) 217
3.2.4.5. Computerized versions of the conversion process. Calibration programs 2.0. and 3.0.1. of M. Stuiver and P.J.Reimer 221
4. 1-6. **Some practical recommendations** 231
5. 1-8. **Towards a radiocarbon chronology of Romanian prehistory. C-14 data list** 237
6. **Conclusions** 266
Radiocarbon laboratories 271
Bibliography 295

CUVÂNT ÎNAINTE

Este de prisos, credem, să insistăm asupra necesității în literatura arheologică românească, a unei lucrări despre metoda radiocarbon, metodă fără de care este de neînchipuit, astăzi, stabilirea cronologiei epocilor istorice mai îndepărtate. O asemenea lucrare este cu atât mai necesară cu cât posibilitățile de informare ale celor interesați sunt limitate, publicații fundamentale în acest domeniu (revista *Radiocarbon*, de exemplu) lipsind din bibliotecile din România.

Scopul nostru a fost înfățișarea unei imagini de ansamblu asupra datării radiocarbon, începând cu principiile de bază ale metodei și terminând cu progresele făcute, în ultimul timp, în domeniul măsurătorilor ^{14}C de înaltă precizie și în cel al calibrării, inclusiv elaborarea unor programe de calibrare computerizate, acceptate și recomandate de comunitatea ^{14}C internațională. Ne-am străduit să prezentăm metodă într-o manieră accesibilă, fără a ascunde, însă, complexitatea sa. Cunoașterea corectă atât a posibilităților cât și a limitelor metodei ar trebui să fie un avertisment pentru cei care utilizează fără discernământul necesar datările radiocarbon în reconstituirea evoluției unor civilizații care nu ne-au lăsat mărturii scrise. Am insistat, de asemenea, asupra însemnătății mostrelor în datare și, implicit, asupra rolului și a responsabilității arheologului în obținerea unor datări cât mai apropiate de realitate. Am rezumat, în finalul lucrării, și câteva

recomandări practice, care ar putea fi de folos pentru arheologii care doresc să colecteze mostre în vederea datării radiocarbon. Am socotit de datoria noastră să includem în lucrare şi un capitol, oricât de scurt, relativ la stadiul aplicării metodei ^{14}C în cercetarea preistorică românească. Sperăm să fie util pentru informarea cititorului şi lista laboratoarelor de radiocarbon în funcţiune, anexată lucrării. Ilustraţia, selectată cu grijă, are menirea de a înlesni, îndeosebi, înţelegerea părţilor mai dificile ale textului. Bibliografia, rânduită, în principiu, tematic, dă posibilitate cititorului de a verifica datele cuprinse în carte şi să găsească noi surse de informare.

În intenţia noastră această carte se înscrie, ca gen, în rândul "manualelor" sau "tratatelor", destinate arheologilor, cum este, de pildă, lucrarea reputaţilor specialişti de la Groningen, W.G. Mook şi H.T. Waterbolk, *Radiocarbon Dating* (Strasbourg, 1985, 65 p.), publicată ca cel de al treilea volum al colecţiei *Handbooks for Archaeologists*, editată de European Science Foundation. Dacă lucrarea noastră a devenit mai amplă, faptul se datorează unor carenţe deja schiţate, existente la noi, în ceea ce priveşte posibilităţile de documentare în acest domeniu. Oricum, prin cartea noastră am dorit să venim în sprijinul iniţiativei lăudabile a colegului Dragomir Popovici, director adjunct al Muzeului Naţional de Istorie a României, de a pune la îndemâna celor interesaţi, studenţi şi tineri arheologi mai ales, instrumente de lucru din domeniul cercetărilor interdisciplinare. Cartea noastră urmează după lucrarea colegilor Marin Cârciumaru şi Alexandru Tomescu, *Palinologia. Aplicaţia ei în arheologie*, MNIR, Bucureşti, 1994, 55p. Cele două volume ar putea constitui primele numere ale unei colecţii de lucrari din domenii de specialitate cu care arheologia colaborează.

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI

Ar fi fost de dorit ca lucrarea pusă acum la dispoziția arheologilor români, să fie elaborată de un specialist în domeniu, un colaborator al unui laborator de radiocarbon. Nu a fost (nu a putut) să fie așa, căci România este una din puținele țări europene care nu dispune de un asemenea laborator. Lucrarea a fost scrisă, astfel, de un arheolog, pentru arheologi. Autorul s-a străduit să se familiarizeze cu un domeniu destul de îndepărtat de pregătirea sa de bază. Cu toate acestea, de bună seamă, specialistul în științele exacte și, probabil, nu numai el, va descoperi în acest text nu puține stângăcii, poate chiar greșeli, în ceea ce privește terminologia și unele formulări. Redactarea textului, cu unele reveniri și completări, făcute pe parcurs, în urma obținerii unor noi informații, a durat doi ani, ceea ce a dus, poate, la unele inconsecvențe, care, în ciuda bunelor noastre intenții, nu au mai putut fi înlăturate. Asigurăm cititorul de receptivitatea noastră și socotim binevenită orice sugestie sau critică.

Am dori să precizăm că nașterea acestei cărți nu este, totuși, simplul rezultat al unui concurs de împrejurări. La baza ei stă o îndelungată și anevoioasă documentare, ce a necesitat timp, efort spiritual și sacrificii materiale. Fondul lucrării îl constituie prelegerile noastre ținute la Facultatea de Istorie a Universității "Al.I.Cuza" din Iași în cadrul unui curs privind *Metodele moderne de cercetare în arheologie*, curs inițiat și susținut, înaintea noastră, de acad. prof. M.Petrescu-Dîmbovița. La familiarizarea cu tematica cărții a contribuit și interesul nostru pentru posibilitățile datării radiocarbon în stabilirea poziției temporale a anumitor civilizații străvechi, preocupări ce s-au materializat în câteva studii relative la aplicabilitatea

metodei ^{14}C în cronologia preistorică a spațiului sud-est european.

Cu toate străduințile noastre, lucrarea de față nu ar fi putut fi dusă la bun sfârșit fără concursul dezinteresat al unor colegi, din țară sau de peste hotare, care ne-au pus la dispoziție literatură de specialitate, au avut bunăvoința de a-și împărtăși din cunoștințele și experiența lor. Le mulțumim tuturor și pe această cale! Mulțumirile noastre se îndreaptă, în aceeași măsură, către cei care au înlesnit apariția acestei cărți și, nu în ultimul rând, către studenții noștri de la Facultatea de Istorie a Universității "Al.I.Cuza" din Iași, viitori specialiști sau arheologi deja consacrați, care au avut răbdarea să asiste, primii, la expunerea cunoștințelor cuprinse în această lucrare, pusă acum la dispoziția unui cerc mai larg de cititori.

Autorul

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

TO THE READER

The aim of this study is to provide a global perspective on radiocarbon dating, beginning with the basic principles of the method and ending with the recent progress in the precision of measurement and calibration of ^{14}C dates, including the internationally recommended calibration methods and computerized versions of the conversion process. This synthesis is necessary for the dissemination of information, since fundamental publications in this domain do not exist in Romanian libraries.

It would have been preferable for a specialist in dating, with access to a radiocarbon laboratory to have written this book. Since Romania is one of the few European countries without radiocarbon dating facilitis, this book was written by an archaeologist for archaeologists with the hope that his colleagues, especially the young scholars, will be able to understand and appreciate better both the possibilities and the limitations of this method.

The author has made an effort to familiarize himself in a field of research beyond his area of expertise. Taking this into consideration, specialists in the exact sciences, as well as others, will probably discover some awkwardness, or even a few errors, concerning terminology and formulae. The reader is assured that we welcome any suggestions or criticisms.

This book is not the result of accidental circumstances, but rather the result of considerable effort and documentation,

after 1989 also abroad. The author is indebted to colleagues, in Romania and abroad, who provided assistance in one way or another.

This work derives from a course on interdisciplinary methods in archaeology taught in the Department of History at the "Alexandru I. Cuza" University, Iaşi. I thank my students for their patience, year after year, as well as the readers who appreciate the results of our efforts.

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1. INTRODUCERE

1.1. Izotopul natural cu numărul de masă 14 al carbonului (^{14}C, carbon-14, C-14, radiocarbon) a fost descoperit în 1940 de Serge Alexander Korff (1906-1989), profesor de fizică la New York University, unul din pionierii de seamă ai cercetării radiației cosmice. La acea dată, însă, nimeni nici nu bănuia măcar, ce perspective se vor deschide, prin studierea acestei substanțe slab radioactive, în fața determinării vârstei monumentelor arheologice, îngropate în cursul ultimelor câteva zeci de mii de ani.

Metoda de datare, cunoscută sub denumirea de metoda radiocarbon, a fost elaborată de savantul american Willard Frank Libby care, pentru contribuția sa, a obținut, în 1960, premiul Nobel pentru chimie.(În alocuțiunea sa, rostită cu această ocazie, el nu a uitat să evidențieze și meritul lui S.A. Korff, prin descoperirea carbonului-14.) Libby (1908-1980) a studiat chimia fizică la Universitatea California (Berkeley), aici a obținut doctoratul (1933) și tot aici și-a început cariera științifică. Din anul 1941 a lucrat în cadrul programului Manhattan, alături de profesorul Harold C. Urey. După terminarea războiului își reia cariera academică, devenind profesor de chimie la Universitatea din Chicago. În anii petrecuți aici este elaborată metoda radiocarbon, înlesnit de o invenție mai veche a lui Libby - un contor Geiger special, servind la măsurarea nivelului radiației radioactive slabe. În anul 1954 devine membru al Agenției pentru energie atomică a

Statelor Unite; ia parte la organizarea şi activitatea diferitelor foruri internaţionale din acest domeniu. Revenit în viaţa universitară, din 1959 este profesor al departamentului de chimie al Universităţii California (Los Angeles). Aici va fi unul din principalii iniţiatori ai cercetărilor spaţiale, nu în ultimul rând în calitatea sa de director al Institutului de Geofizică şi de Fizică Planetară. În anii '70 este preocupat şi de problemele ocrotirii mediului ambiant; la iniţiativa lui a fost introdus doctoratul în domeniul ecologiei, posesorii titlului de Environmental Doctor fiind foarte căutaţi atât de diferitele oficii ale Administraţiei, cât şi de intreprinderile industriale. Libby a fost un profesor distins şi un cercetător strălucit, care a creat o operă remarcabilă în diverse domenii ale ştiinţei. Cel mai de seamă rezultat al activităţii sale de o jumătate de veac este, fără îndoială, elaborarea metodei radiocarbon, care i-a asigurat un renume binemeritat în lumea ştiinţifică internaţională. Cartea sa, *Radiocarbon Dating* (Datarea prin radiocarbon), în care a sintetizat cercetările sale din acest domeniu, a cunoscut mai multe ediţii în limba engleză şi a fost tradusă în limbi ca germana, spaniola, rusa.

1.2. În a doua jumătate a anilor '40, Libby şi colaboratorii săi de la Universitatea din Chicago au studiat influenţa radiaţiei cosmice asupra atmosferei terestre - în ultimă instanţă, aceste cercetări au dus la elaborarea metodei de datare radiocarbon. Libby a ajuns la concluzia că neutronii rezultaţi în urma radiaţiei cosmice pot transforma atomii de azot din atmosferă (^{14}N) în izotopul ^{14}C, care, la rândul său, poate forma molecule de dioxid de carbon (CO_2). Astfel, în procesul fotosintezei, ^{14}C intră în celulele vegetale, de unde, prin lanţul

alimentar, ajunge în organismul animalelor şi al omului, întreaga biosferă devenind uşor radioactivă. Prezenţa radiocarbonului a putut fi demonstrată pentru prima dată în gazul metan prelevat din apele reziduale ale oraşului Baltimore (1947), ca ipoteza lui Libby să fie confirmată apoi de măsurătorile efectuate pe mostre felurite, în special de lemn, originare din diferite colţuri ale lumii. În urma acestor investigaţii se părea că nivelul de radioactivitate a materiei vii este, pe glob, peste tot, acelaşi. Cercetările echipei lui Libby au fost extinse şi asupra unor mostre de lemn vechi, de vârstă cunoscută, provenite, mai ales, din monumentele funerare ale Egiptului antic. Conform aşteptărilor (având în vedere dezintegrarea treaptată a carbonului-14), radioactivitatea specifică, măsurată pe aceste mostre, s-a diminuat din ce în ce mai mult, odată ce probele examinate aveau o vechime mai mare. De pildă, radioactivitatea specifică a mostrelor de lemn, provenite din mormintele faraonilor Djoser şi Snofru (Regatul Vechi, dinastiile III şi IV), care au trăit în primele secole ale mileniului al III-lea î.H., a ajuns să fie aproximativ cât jumătatea radioactivităţii "lemnului viu", deci cea a ţesuturilor copacilor din vremea noastră. Aceste observaţii au dus, încă în 1949, la concluzia că procedeul este reversibil: pe baza măsurării conţinutului de ^{14}C, respectiv a radioactivităţii specifice a unor mostre de vârstă necunoscută, devine posibilă datarea lor (fig.1).

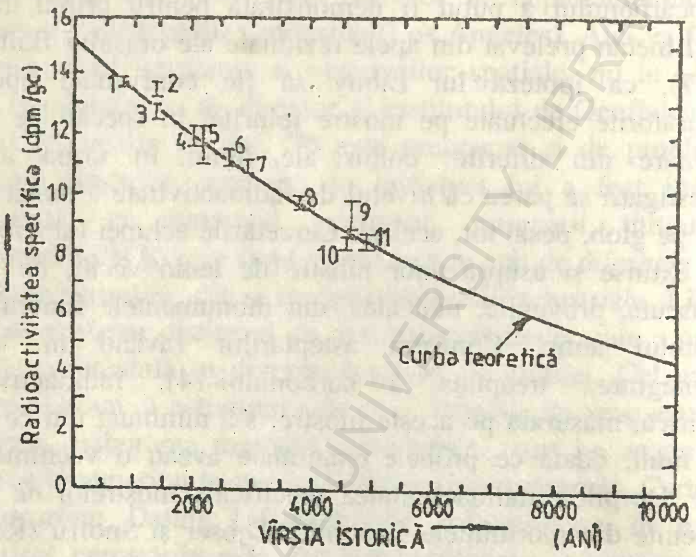


Fig.1. Prima investigaţie cuprinzătoare de control cu mostre de vârstă cunoscută. 1-3 inele anuale, 4 Biblia, 5 sicriu, 6 Tayinat, 7 Redwood, 8 barcă (Sesostris), 9 Djoser, 10 Snefru, 11 Hemaka. Curba teoretică se bazează pe timpul de înjumătăţire de 5568 ani. Rezultatele au demonstrat că pe baza măsurării radioactivităţii specifice, în descreştere odată cu trecerea timpului, devine posibilă datarea mostrelor de vârstă necunoscută. (După J.R. Arnold şi W.F. Libby, 1949; *apud* M.J.Aitken, 1974).

1.3. În spiritul acestor observaţii şi concluzii au prins contur principiile fundamentale pe care se bazează metoda de datare a lui Libby. Rolul indicatorului de timp este îndeplinit de ^{14}C. Acesta se formează în straturile superioare ale atmosferei, ca rezultat al acţiunii transformatoare a neutronilor liberi, produşi de radiaţia cosmică, asupra atomilor de azot. Carbonul - 14, astfel produs, poate forma, cu oxigenul din atmosferă, molecule de dioxid de carbon. Acestea au proprietăţi chimice identice, indiferent dacă conţin carbon stabil sau radioactiv. (Izotopii stabili ai carbonului sunt ^{12}C şi ^{13}C, care se întâlnesc în carbonul natural în proporţie de 98,9%, respectiv 1,1%). Prin fotosinteza dioxidului de carbon atmosferic, ^{14}C este asimilat de ţesuturile plantelor, de unde, prin intermediul lanţului alimentar, ajunge şi în organismul celorlalte fiinţe vii. Sub forma carbonaţilor dizolvaţi, dioxidul de carbon atmosferic pătrunde şi în apa oceanelor; astfel, prezenţa carbonului-14 a putut fi demonstrată şi în scoicile marine. În urma măsurătorilor efectuate în diferite puncte ale globului s-a ajuns la concluzia că în aşa numitul rezervor dinamic, constând din atmosfera, biosfera şi apa oceanelor, distribuirea, concentraţia naturală a radiocarbonului este, peste tot, uniformă (fiindcă are loc o amestecare relativ rapidă între atomii de carbon, prezenţi în părţile componente ale rezervorului) şi constantă (fiindcă se ajunge la un echilibru între producţia de ^{14}C, datorată radiaţiei cosmice, şi pierderea cauzată de dezintegrarea radioactivă). Această concentraţie este infimă: doar aproximativ a bilioana parte a întregii rezerve de carbon. Deoarece singura sursă a carbonului asimilat de ţesuturile vieţuitoarelor este dioxidul de carbon atmosferic, proporţia ^{12}C - ^{14}C în principiu trebuie să fie

identică atât în organismele vii cât şi în atmosfera înconjurătoare.

După moartea organismelor, odată cu încetarea proceselor de nutriţie (când se întrerupe interacţiunea carbonului acumulat în ţesuturi cu rezervorul dinamic), se opreşte reproducerea echilibrului ^{12}C - ^{14}C şi proporţia celor doi izotopi începe să se modifice în detrimentul carbonului radioactiv, care, treptat, se dezintegrează, procesul fiind însoţit de emisie de particule b. În acest moment porneşte "cronometrul radiocarbon" al lui Libby. Fiecare izotop radioactiv îşi are viteza de dezintegrare caracteristică, exprimată prin timpul de înjumătăţire. Acesta, în cazul radiocarbonului, a fost stabilit iniţial la 5568 ± 30 de ani. Folosind cifre rotunde, conţinutul de C-14, acumulat în organismul plantelor, animalelor sau al omului, va scădea, astfel, în rămăşiţe, după 5.600 de ani la jumătate, după 11.200 ani la o pătrime, iar după 35.000 de ani la 1%. Prin urmare, dacă se compară conţinutul actual de C-14 (măsurat în intensitatea radiaţiei b) al unei mostre prelevate dintr-o descoperire arheologică cu concentraţia ^{14}C a materiei vii (considerată neschimbată timp de milenii şi corespunzătoare, astfel, conţinutului iniţial de C-14 al mostrei), cunoscând viteza de dezintegrare a radiocarbonului, poate fi calculat intervalul de timp care a trecut de la moartea organismului, din care provine mostra.

Această idee genială a stârnit, pentru prima dată, speranţa că va putea fi pusă la dispoziţia cercetătorilor trecutului o metodă obiectivă, cu aplicabilitate generală, pentru datarea descoperirilor arheologice, vechi de câteva zeci de mii de ani. Raţionamentul schiţat mai sus pare a fi simplu, dar traducerea

lui în viață presupune măsurători și calcule complicate, existența unei aparaturi și instalații complexe și costisitoare. De asemenea, nu poate fi trecut cu vederea faptul că datarea radiocarbon - așa cum a fost elaborată de Libby și colaboratorii săi - se bazează, în ultima instanță, pe câteva ipoteze; dacă vreuna dintre acestea se dovedește eronată, valabilitatea întregii metode poate deveni discutabilă. Iată, care sînt aceste ipoteze:

- Intensitatea radiației cosmice, pătrunsă în atmosfera terestră, ca și acțiunea ei asupra producerii neutronilor liberi, au fost neschimbate în cursul ultimelor 30 de milenii.

- Acțiunea neutronilor asupra azotului, transformarea acestuia în carbon radioactiv, ca și formarea dioxidului de carbon, alcătuit din ^{14}C și oxigenul atmosferic, a fost constantă și uniformă.

- Concentrația carbonului - 14 în atmosferă și, în consecință, și în organismele vii, vegetale sau animale, este, de milenii, constantă.

- Structura conținutului de carbon nu se modifică, cu excepția dezintegrării ^{14}C.

- Timpul de înjumătățire stabilit (5568 ani) este exact sau aproape exact.

- Nici un factor cosmic, fizic sau biologic nu poate influența concentrația ^{14}C și dezintegrarea carbonului radioactiv.

Rezumând: potrivit acestor ipoteze, în perioada pentru care se aplică metoda radiocarbon, intensitatea radiației cosmice a fost mereu constantă și, în felul acesta, nu au putut avea loc modificări în producerea carbonului - 14. Conținutul de carbon al așa numitului rezervor dinamic - deci al atmosferei, al apei oceanelor și al biosferei - a fost stabil și nu s-a modificat nici

structura rezervorului. Concentrația ^{14}C a atmosferei și a organismelor vii a fost, deci, mereu constantă și identică peste tot globul. Dezintegrarea carbonului radioactiv s-a desfășurat uniform în cursul mileniilor, cu viteza corespunzătoare timpului de înjumătățire, ceea ce a putut fi stabilit cu suficientă precizie.

Prima dare de seamă despre rezultatele obținute în domeniul determinărilor cronologice pe baza conținutului de ^{14}C al mostrelor a fost publicată de Libby și de colaboratorii săi, E.C. Anderson și J.R. Arnold, în 1949, în paginile revistei *Science*. Aceasta a fost urmată apoi, în 1952, de prima ediție a cărții lui Libby, *Radiocarbon dating*, publicată de University of Chicago Press. După cum am menționat, cartea a mai fost reeditată de două ori în limba engleză (1955,1965) și a fost tradusă și în alte limbi. Libby a revenit, din când în când, și mai târziu asupra problemelor datării radiocarbon și a urmărit cu atenție, până la sfârșitul vieții, evoluția metodei, care, odată pornită la drum, a început să trăiască propriul său destin.

1.4. După cum a remarcat unul din foștii săi colaboratori de la Los Angeles, Rainer Berger, prin cercetările sale Libby a creat un nou domeniu al științei. Acest domeniu interdisciplinar, împletit din anumite ramuri ale fizicii, chimiei, biologiei, geologiei și arheologiei, s-a dovedit, de la început, deosebit de fecund și atrăgător, mai ales în acele țări în care s-a ajuns deja la o colaborare strânsă între arheologia și științele naturii și în care au existat deja anumite tradiții în privința metodelor de datare preistorică, bazate pe științele naturii (cronologia varvelor, palinologia).

Este semnificativ faptul că decanul de vârstă al arheologiei olandeze, profesorul Albert Egges van Giffen, directorul Institutului de Bio-Arheologie al Universității de la Groningen, încă în cursul iernii 1949-1950, deci imediat după comunicarea primelor rezultate ale lui Libby, i-a solicitat lui Hessel de Vries (care și-a început cariera în domeniul fizicii atomice, specializându-se, ulterior, în biofizică) să înființeze un laborator de datare ^{14}C pentru institut. (Pare anecdotic, dar merită să fie menționat că oamenii de știință olandezi au fost informați despre noua metodă de datare la o conferință a profesorului A.H.W. Aten, de la departamentul de fizică al Universității din Amsterdam, care tocmai se întorsese dintr-o călătorie de studiu în Statele Unite, conferință pe care a audiat-o, trimis de van Giffen, și asistentul acestuia, Willem Glasbergen...) De Vries care, ulterior, a contribuit atât de substanțial la dezvoltarea și aplicarea metodei lui Libby, a acceptat oferta lui van Giffen. În laboratorul de la Groningen prima determinare cronologică cu metoda radiocarbon - datarea unei mostre de lemn, provenită dintr-o construcție medievală - a avut loc în mai 1952, iar în ianuarie 1953 a fost gata să înceapă activitatea de rutină. Specialiștii danezi au fost mai străduitori: cu toate că au început să-și construiască instalația cu o oarecare întârziere, laboratorul de datare radiocarbon, înființat pe lângă Muzeul Național de la Copenhaga, a început să funcționeze, primul în Europa, încă în cursul anului 1952.

1.5. Datorită eforturilor unor oameni de știință, americani și europeni, așa a început să-și croiască drum, în primii ani ai deceniului șase, o nouă metodă de datare, în legătură cu care părerile - cele ale arheologilor, mai ales - au

rămas împărţite până în zilele noastre: unii privesc cu rezerve şi scepticism sau chiar resping rezultatele datărilor ^{14}C, în timp ce alţii vorbesc despre o adevărată "revoluţie radiocarbon" a cronologiei preistorice.

În ciuda deosebirilor de opinii - sau, poate, tocmai de aceea - posibilităţile ascunse în metoda radiocarbon au constituit o provocare fără pereche pentru ramurile ştiinţifice implicate. În cursul ultimelor decenii au fost construite circa 100 de laboratoare radiocarbon în ţările celor cinci continente ale lumii (a se vedea lista anexată la sfârşitul lucrării). Marea majoritate a acestora funcţionează pe lângă universităţi, muzee, institute de cercetare, lucrând la realizarea unor programe ştiinţifice, dar există şi laboratoare care efectuează datări la comandă, în scopuri comerciale. Datările radiocarbon nu sunt ieftine: judecând după tarifele (valabile pentru anul 1996) ale unor laboratoare, care primesc comenzi contra cost, ne putem da seama de preţul, în general, al unei determinări cronologice. Astfel, la *Laboratoire Romand de Dendrochronologie* (Moudon, Elveţia) o datare radiocarbon, efectuată în curs de trei luni, pe o mostră obişnuită, costă 790 Fr (fără TVA), dar datarea mortarului, de pildă, costă 3300 Fr/mostră. La *Beta Analytic Inc.* (Miami, Florida, SUA) o determinare cronologică standard efectuată în 30 de zile lucrătoare costă 245-275 $/mostră (în funcţie de numărul probelor livrate), iar cea mai ieftină datare prin accelerator (tehnica AMS) costă 610 $. Pentru servicii speciale (extragerea colagenului sau a celulozei, stabilirea valorii d ^{13}C etc.) ori pentru urgentarea datării se percep taxe adiţionale.

Odată cu înmulţirea numărului laboratoarelor şi cu creşterea capacităţii lor, s-a mărit substanţial şi cantitatea datelor ^{14}C: după evaluările specialistului de la Oxford, J.A.J. Gowlett, la începutul anilor '80 lumea ştiinţifică a dispus deja de peste 50.000 de datări radiocarbon. (Menţionăm, pentru comparaţie, că într-o lucrare, prezentată la cea de a VIII-a Conferinţă Internaţională de Radiocarbon de la Wellington, Noua Zeelandă, şi publicată în 1972, Libby aprecia că, până în acel moment, au fost efectuate în laboratoarele lumii cca 30.000 de analize ^{14}C). În publicarea datelor C-14, de peste trei decenii, are un rol determinant revista *Radiocarbon,* dedicată în întregime problemelor specifice ale acestei metode. Primele sale două numere (1959-1960) au apărut ca supliment al revistei *American Journal of Science,* iar începând cu cel de al treilea an (1961) apare ca o publicaţie de sine stătătoare, editată de Universitatea Yale, cu sediul la New Hawen (Statul Connecticut). Cu timpul, şi revistele de arheologie şi-au oferit paginile pentru publicarea noilor rezultate ale metodei radiocarbon, ale cărei probleme sunt dezbătute, periodic, cu ocazia unor conferinţe internaţionale speciale, sau în cadrul secţiilor de metodologie ale marilor congrese de ştiinţe pre- şi protoistorice.

Înmulţirea datelor ^{14}C a făcut posibilă schiţarea cronologiei radiocarbon a unor regiuni şi perioade şi compararea acesteia cu alte sisteme cronologice, ceea ce a dus, uneori, la momente dramatice în interpretarea preistoriei europene. Odată cu dezvoltarea diferitelor metode "moderne" de datare - şi, în special, a dendrocronologiei - a devenit posibilă verificarea preciziei datărilor radiocarbon şi, în general, evaluarea valabilităţii determinărilor cronologice făcute pe această cale. A devenit evident că acele ipoteze, pe care s-a bazat metoda lui

Libby, nici decum nu sunt atât de întemeiate, cum credea, inițial, savantul american. Unii specialiști au atras atenția, încă în anii '50, că primele trei ipoteze, menționate mai sus, nu pot fi demonstrate, iar celelalte necesită încă, noi argumente. Cercetările de amploare, din ultimele decenii, au confirmat, în multe privințe, rezervele exprimate în legătură cu metoda radiocarbon. Nu este, însă, mai puțin adevărat că specialiștii au depus eforturi uriașe pentru perfecționarea aparaturii tehnice și a metodelor de măsurare, pentru dezvăluirea acelor factori, care pot influența determinarea vârstei mostrelor. Au fost introduse corecții, cu ajutorul cărora pot fi excluse sau pot fi diminuate erorile izvorâte din imperfecțiunile metodei. În felul acesta, putem evalua astăzi mai bine atât posibilitățile, cât și limitele metodei radiocarbon.

1.6. În ultimă instanță, datarea radiocarbon se bazează pe compararea concentrațiilor de ^{14}C. Pentru a determina vârsta unei mostre, ar trebui să cunoaștem:
- proporția actuală ^{14}C / ^{12}C în mostră,
- proporția inițială ^{14}C / ^{12}C în mostră, în acel moment, în care a încetat din viață organismul, din care provine mostra (și în care a început dezintegrarea carbonului-14, acumulat în timpul vieții), - viteza de dezintegrare a ^{14}C.

Concentrația actuală ^{14}C (exprimată în intensitatea radiației b) a mostrei, în limitele unei anumite marje de eroare, poate fi stabilită prin măsurători. Aceasta este singura informație fundamentală, obținută prin măsurători directe, care face posibilă determinarea cronologică a mostrei. Tot prin măsurători s-a încercat să se determine cât mai exact viteza de dezagregare

a carbonului-14. După cum am mai menționat, timpul de înjumătățire a ^{14}C a fost stabilit de Libby la 5568 ani, corectat ulterior la 5730 ani. Ceea ce nu mai poate fi măsurat, este radioactivitatea inițială a mostrei. Acest lucru nu a însemnat nici un impediment pentru Libby, căci el a presupus că între producția și dezintegrarea carbonului-14 s-a ajuns la un echilibru, concentrația radiocarbonului fiind deci, de milenii, neschimbată. De aceea, și din cauza amestecului relativ rapid și uniform, ce intervine în rezervorul dinamic, proporția izotopilor ^{14}C / ^{12}C, cu excepția unor deviații neglijabile, este constantă în toate organismele vii (și este identică cu cea din atmosfera terestră). La început s-a considerat, deci, că în locul radioactivității inițiale a mostrelor - ceea ce nu mai poate fi stabilită astăzi prin măsurători directe - poate fi utilizată ca etalon materia vie actuală, cu alte cuvinte, radioactivitatea specifică a acesteia poate fi comparată cu radioactivitatea remanentă a mostrelor vechi.

1.7. După cum s-a dovedit însă, curând, concentrația ^{14}C a atmosferei (și, în felul acesta, a întregului rezervor dinamic) nicidecum nu a fost constantă în trecut, ci prezenta oscilații mai mici sau mai mari. Acestea, după cum vom vedea, sunt în legătură cu fenomene naturale, cosmice sau terestre, și numai în mică măsură au cauze antropice.

În privința oscilațiilor de concentrație ^{14}C, ca factori ce influențează fundamental datarea, trebuie știut faptul că, în funcție de rata de dezintegrare a radiocarbonului, numărul atomilor de C-14 se diminuează cu cca 1% în fiecare 83 de ani. Datorită creșterii sau scăderii cu 1% a concentrației ^{14}C, vârsta

(vechimea) calculată a mostrei va fi, deci, cu 83 de ani mai mare (mai timpurie) sau mai mică (mai recentă), decât vârsta reală a obiectului studiat. (În cazul unei variații de 2% a concentrației, deviația între vârsta reală și cea măsurată va fi de 2 x 83 de ani ș.a.). Din această cauză se poate întâmpla ca două mostre, care au vârsta reală diferită, să aibă aceeași radioactivitate actuală (măsurată) și, în consecință, și datarea radiocarbon (convențională) identică. De pildă, dacă investigăm două mostre dintre care una are o vechime mai mare cu 83 de ani decât cealaltă, dar în timpul formării celei dintâi nivelul concentrației ^{14}C a atmosferei a fost cu 1% mai ridicat decât în momentul în care a luat ființă cea de-a doua, în ciuda diferenței de vârstă, radioactivitatea ^{14}C actuală (măsurată) a celor două mostre trebuie să fie, în principiu, identică. Şi, deoarece singura informație specifică, determinantă, oferită de mostre, utilizabilă în datare, este radioactivitatea lor actuală, măsurată, în cazurile menționate, ca și în cele asemănătoare, este imposibil de a face vreo diferențiere cronologică între mostre.

Având în vedere cele expuse mai sus, nu este surprinzător că, în ultimele decenii, unul din scopurile principale ale cercetărilor privitoare la metoda radiocarbon a fost tocmai dezvăluirea cauzelor, a măsurii și a eventualelor legități ale oscilațiilor concentrației ^{14}C.

1.8. Către mijlocul anilor '50, Hans Suess și-a dat deja seama că echilibrul natural al ^{12}C și ^{14}C în atmosferă și în organismele vii din epoca modernă a fost considerabil influențat de cantitatea imensă de combustibil fosil (cărbune, și/apoi țiței), arsă de la începutul revoluției industriale, și care, practic, nu

conţinea carbon radioactiv. (Căci, în aceste substanţe, C-14 s-a dezintegrat deja cu milioane de ani în urmă). Potrivit calculelor lui Suess, concentraţia ^{14}C a scăzut după 1850 cu cca 3%, din cauza înmulţirii semnificative a numărului atomilor de carbon non-radioactivi, ajunşi în atmosferă. Prin urmare, dacă folosim pentru datare (ca etalon referitor la nivelul de radioactivitate iniţial al mostrelor) asemenea materiale "sărăcite" în radiocarbon, drept rezultat al măsurătorilor vom obţine date mai recente (mai târzii), decât vârsta reală a pieselor studiate. Din cauza acestui fenomen (numit *fossil-fuel effect* = efectul combustibilului fosil, descris de Suess în 1955), în primii ani ai aplicării metodei C-14, datările calculate pe baza măsurătorilor raportate la radioactivitatea plantelor crescute în zilele noastre au fost corectate: conform diferenţei de concentraţie ^{14}C de 3%, vârsta mostrelor a fost "ridicată", deci datată mai timpuriu, în medie cu 240 de ani.

S-a observat, apoi, că datările radiocarbon sunt influenţate şi de un alt factor: efectul experienţelor cu arme nucleare. (S-a crezut, de altfel, la un moment dat, că, din această cauză, ar trebui să se renunţe la aplicarea metodei). Fenomenul a fost descris de Hessel de Vries la sfârşitul anilor '50 şi observaţiile sale au fost confirmate de cercetările ulterioare. Savantul olandez a constatat că sub influenţa neutronilor pătrunşi în atmosferă în urma experienţelor nucleare, şi mai ales a testelor cu bomba cu hidrogen, începute în 1954, s-a format o mare cantitate de carbon radioactiv, ceea ce nu numai că a egalat efectul descris de Suess, dar l-a şi depăşit, acţionând în sens invers.

S-a aflat, de asemenea, că - după cum era de aşteptat - concentraţia ^{14}C a atmosferei prezintă oscilaţii şi în acele epoci îndepărtate, în care intervenţia omului nu putea influenţa echilibrul natural al mediului ambiant. Primele dovezi cu privire la oscilaţiile naturale în trecut ale concentraţiei radiocarbonului au fost scoase la iveală de H. de Vries, fenomenul purtând numele său ("efectul de Vries"). La cel de al V-lea Congres Internaţional de Pre- şi Protoistorie, care a avut loc la Hamburg, în 1958, specialistul de la Groningen a prezentat rezultatele unor măsurători ^{14}C, efectuate pe mostre de lemn şi de boabe de cereale de vârstă cunoscută, rezultate pe baza cărora s-a putut deduce că în ultimele două milenii concentraţia de radiocarbon prezintă oscilaţii cu o amplitudine de până la ± 2% (ceea ce dă naştere unei deviaţii de ± 160 de ani în vârsta calculată). Concluziile lui de Vries au fost strălucit confirmate, peste doi ani, de experienţele efectuate în colaborare ale laboratoarelor de la Cambridge, Heidelberg şi Copenhaga, în cursul cărora s-au făcut măsurători pe mostre de lemn, precis datate prin metoda dendrocronologiei, mostre prelevate din arborii mamuţi (*Sequoia gigantea*) ce trăiesc în regiunile de sud-vest ale Statelor Unite şi care ating vârste de mii de ani. Începând cu anii '60, mai multe laboratoare de radiocarbon şi de dendrocronologie, americane şi europene, au studiat deosebit de meticulos oscilaţiile din trecut ale concentraţiei ^{14}C (vezi: calibrarea). În reuşita acestor investigaţii un rol inestimabil l-au avut măsurătorile de precizie efectuate pe seriile de inele de creştere, întinzându-se pe mai multe mii de ani, ale pinului ţepos (*Pinus aristata* sau *Pinus longaeva*) din Munţii Albi (White Mountains), California. Aceste cercetări au dus la concluzia că în perioada

precedentă mileniului I î.H. concentrația ^{14}C a crescut în mod semnificativ și durabil. Potrivit evaluărilor, în mileniile V-IV, deci în perioada neoliticului european, excedentul de concentrație a fost aproape 10%. Rezultă de aici că vârsta mostrelor, provenite din această perioadă, stabilită prin măsurători radiocarbon, este cu aproximativ 800 de ani mai "coborâtă/joasă", deci mai târzie, decât vârsta lor reală.

1.9. A devenit neîndoielnic că, din cauza oscilațiilor concentrației ^{14}C, vârsta radiocarbon măsurată deviază de la vârsta reală ("istorică") a mostrelor, altfel spus: vârsta exprimată în "ani radiocarbon" nu este identică cu vârsta stabilită în ani calendaristici (astronomici). De pildă, conform unor estimări, în primele trei milenii î.H. 75 de ani radiocarbon au fost echivalenți cu 100 de ani calendaristici. Drept urmare, datările C-14 nu pot fi pur și simplu comparate cu datele cronologiei istorice! Pentru a pune în acord cele două sisteme de datare, specialiștii au elaborat - cu ajutorul dendrocronologiei - diferite procedee de corecție (ducând adesea, la rezultate diferite). Aceasta este calibrarea. Prin calibrarea, cel puțin în principiu, datele radiocarbon "directe" (convenționale) pot fi convertite în date calendaristice. Dar: și la baza datelor calibrate stau datele ^{14}C "directe", aceeași dată radiocarbon convențională poate fi echivalată cu mai mulți ani calendaristici și însuși procedeul de calibrare poate constitui sursa unor noi erori. În realitate, deci, datele calibrate nu sunt neapărat mai precise, credibilitatea lor fiind, uneori, chiar mai mică.

Pe de altă parte, nu putem neglija împrejurarea că, potrivit cercetărilor de până acum, oscilațiile concentrației ^{14}C

au fost, în fond, simultane pe tot globul, deci, la un moment dat, nivelul C-14 al atmosferei a fost acelaşi în toată lumea (acesta este principiul simultaneităţii). Şi dacă acest principiu este corect, datările radiocarbon convenţionale sunt independente de poziţia geografică a locului de descoperire a mostrelor şi, astfel, datele ^{14}C referitoare la fenomenele arheologice ale unor teritorii îndepărtate sunt reciproc comparabile.

Ţinând cont de aceste considerente, în 1962 a fost adoptată recomandarea (reînnoită apoi de mai multe ori), potrivit căreia, ca dată de referinţă, trebuie determinată şi publicată vârsta ^{14}C convenţională a mostrelor. Astfel, în limitele acestei scale speciale a timpului, consecventă în felul său, este asigurată posibilitatea comparării reciproce a datărilor, inclusiv a rezultatelor determinărilor cronologice ^{14}C mai vechi. Cercetarea arheologică, în special cea preistorică, de multe ori se mulţumeşte cu aceste date radiocarbon convenţionale, cu toate că există, în ultimul timp, şi o puternică tendinţă de a trece la utilizarea datelor calibrate. Fără îndoială, în anumite cazuri poate deveni inevitabilă transformarea datelor ^{14}C în date calendaristice. Acest lucru poate deveni necesar, de pildă, atunci când încercăm să punem în legătură anumite fenomene arheologice, datate prin metoda radiocarbon, cu unele evenimente datate istoric, când dorim să comparăm datele ^{14}C cu rezultatele altor metode fizice de datare, sau dacă încercăm să fixăm o aşa-zisă serie dendrocronologică "flotantă".

În cele două capitole următoare ne vom ocupa, mai întâi, de datarea radiocarbon convenţională şi, cu aceeaşi ocazie, de problemele generale ale metodei C-14. Vom discuta apoi cercetările privitoare la oscilaţiile din trecut ale concentraţiei

^{14}C, precum și acele încercări care au drept scop transformarea ât mai precisă a datelor radiocarbon convenționale în ani alendaristici (calibrarea).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2. DATAREA RADIOCARBON CONVENŢIONALĂ

Determinările cronologice, exprimate nu în ani calendaristici ci în ani radiocarbon se bazează pe ipotezele lui Libby şi pe câteva convenţii acceptate pe plan internaţional. Conform acestora, concentraţia ^{14}C a atmosferei trebuie considerată ca şi cum ar fi fost în trecut mereu constantă. Radioactivitatea materiei vii (de vârstă zero) se stabileşte printr-un etalon internaţional de autentificare. La calcularea vârstei se utilizează timpul de înjumătăţire stabilit iniţial, la 5568 ani. Toate datele ^{14}C convenţionale trebuie exprimate în ani BP, raportaţi la anul 1950 d.H. (BP este prescurtarea expresiei în limba engleză *before present* = înainte de prezent; datele astfel indicate trebuie înţelese, deci, în sensul scurgerii timpului de la prezent spre trecut. Prin consens, indiferent de momentul datării, "prezentul" este raportat la anul 1950 d.H., începutul aplicării metodei radiocarbon. În legătură cu maniera de prezentare a datelor radiocarbon, conform convenţiilor internaţionale, vezi cap.4.6.). Radioactivitatea măsurată a mostrelor, respectiv vârsta lor calculată, trebuie corectată în funcţie de fracţionarea izotopului.

2.1. *Materiale ce pot fi folosite pentru datare.*

În principiu, orice substanţă organică sau anorganică, care conţine ^{14}C, poate fi folosită pentru datarea radiocarbon: lemnul, cărbunele de lemn, turba, osul, coarnele şi dinţii, trestia, seminţele şi boabele, textile, pielea, părul, hârtia, coaja de ouă, cochiliile, coralul, depuneri de carbonaţi ori carbonaţi dizolvaţi

în apă etc. Mai nou, este datat mortarul precum și ceramica și fierul, acesta din urmă conținând o cantitate infimă de carbon. În cazul aplicării procedeului de datare tradițional, bazat pe măsurarea radiației b, este de dorit ca mostra să conțină cel puțin 6 grame de carbon pur. Pentru acesta sunt necesare următoarele cantități de materiale: cărbune de lemn: 8-10 sau chiar 10-15 g.; boabe de cereale carbonizate: 30-40 g; lemn, turbă: 15-20 g; os: 100-150 g. (după alte opinii: 100-1000 g.); scoici, carbonați: 40-50 g. etc. (În legătură cu această problemă a se vedea, mai pe larg, cap.4.5.) Aplicând metoda numărării atomilor, dezvoltată mai recent, poate fi suficientă o mostră cu o masă de numai 1 miligram, eventual chiar mai mică. În ceea ce privește frecvența materialelor folosite pentru datare, conform unei statistici, referitoare la mostrele datate, de origine europeană, publicate în revista Radiocarbon între 1976 și 1981, pe primul loc se află cărbunele de lemn (54%), urmat de osul (21%). Toate celelalte materiale figurează cu valori sub 2%.

Dincolo de aceste date, merită să aruncăm o privire și asupra unui alt aspect: comparate reciproc, ce încredere putem să avem în rezultatele măsuratorilor efectuate pe diferite materiale. Întocmirea unei statistici cuprinzătoare, autentice, abia dacă este posibilă, căci rezultatele care contrazic în mod evident valorile așteptate nu totdeauna sunt publicate, iar pe de altă parte, datele ce însoțesc datările radiocarbon publicate adesea nu fac posibil să evaluăm, în ce măsură sunt credibile determinările cronologice. Discutând 840 de determinări cronologice (cunoscute detaliat, de la prelevarea mostrelor până la analizarea rezultatelor), efectuate în laboratorul de radiocarbon de la Lyon, J. Evin a ajuns la concluzia că datările

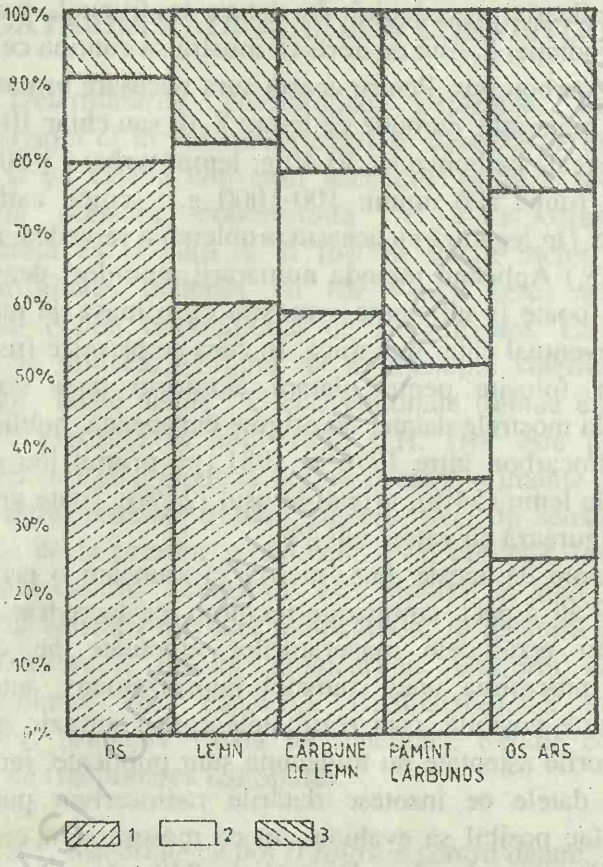


Fig. 2. Gradul de credibilitate a principalelor materiale folosite pentru datarea radiocarbon. 1: în acord, 3: în dezacord cu rezultatele așteptate, 2: rezultate discutabile. (După J. Evin, 1983).

care sunt în cea mai deplină concordanţă cu valorile aşteptate au fost obţinute în urma măsurătorilor făcute pe oase: credibilitatea acestora este - după părerea sa - de 80%, urmând lemnul şi cărbunele de lemn cu 60%, pământul cărbunos cu 35% şi osul calcinat cu 25% (vezi: fig.2). J.A.J. Gowlett consideră, de asemenea, că sunt de preferat mostrele de os. Alţii, ca de pildă specialistul francez G. Delibrias, au rezerve faţă de determinările cronologice făcute pe mostre de oase, deoarece procedeele de pretratare (inclusiv extragerea colagenului) nu asigură totdeauna îndepărtarea poluanţilor. Şi H.E. Suess este de părere că datarea cărbunelui de lemn şi a lemnului, dacă sunt tratate corespunzător, duce la rezultate mai bune decât cea a osului.

Prezenţa carbonului-14 în mostră nu reprezintă, în sine, o garanţie a determinării cronologice reale. O cerinţă fundamentală (dar, din păcate, nu totdeauna îndeplinită) este integritatea mostrei: aceasta trebuie să fie bine conservată, fără a conţine cărbune sau material cărbunos străin, infiltrat în cursul îngropării sau în timpul zacerii în pământ a obiectului din care provine mostra. Dacă mostra este poluată sau amestecată cu cărbune mai vechi sau mai recent, acest lucru poate denatura substanţial - cu secole sau chiar milenii - vârsta calculată. Pentru evitarea unor asemenea erori, laboratoarele aplică diferite metode de pretratare, dar nu totdeauna se reuşeşte purificarea deplină a mostrelor. Deviaţia flagrantă a vârstei măsurate de datarea aşteptată se explică, adesea, prin poluarea mostrei.

Pentru datarea corectă este, de asemenea, indispensabilă evaluarea conţinutului ^{14}C original al mostrei (raportat la concentraţia ^{14}C a atmosferei). După cum am văzut, în cazul

datării radiocarbon convenționale, concentrația ^{14}C a atmosferei este considerată constantă. De aici nu rezultă însă - după cum s-a crezut în momentul elaborării metodei - că și conținutul ^{14}C original al diferitelor materiale din care provin mostrele ar trebui să fie identic. Deoarece schimbul de izotopi cu dioxidul de carbon atmosferic este un proces complex și care nu totdeauna se desfășoară în mod direct, conținutul ^{14}C al materialelor cărbunoase astfel formate poate prezenta o diversitate considerabilă și, într-o anumită măsură, poate să devieze de la concentrația ^{14}C a atmosferei. În datare, acest fenomen dă naștere unei vârste aparente, mai mult sau mai puțin diferită de vârsta reală, ceea ce poate fi corectată numai dacă se cunoaște mărimea deviației ce apare în concentrația ^{14}C (vezi: fracționarea izotopului). Din acest punct de vedere, cele mai convenabile materiale pentru datare sunt acelea care s-au format direct din dioxidul de carbon atmosferic. Cunoscându-se legitățile formării, conținutul ^{14}C al acestora (de obicei numai în mică măsură diferit de concentrația ^{14}C a atmosferei) poate fi stabilit cu suficientă precizie. Fac parte din această categorie, înainte de toate, materialele de origine biologică, cum sunt lemnul, cărbunele de lemn și osul. Sunt mai puțin prielnice sau chiar nepotrivite în scopul datării radiocarbon acele materiale, în cazul cărora formarea conținutului de carbon este determinată de factori insuficient cunoscuți, nu o dată întâmplători. Conținutul izotopic al acestor materiale poate fi foarte variat și de aceea datarea lor (și pregătirea lor pentru datare) necesită multă precauție. Asemenea materiale sunt, de pildă, carbonații dizolvați și depunerile de carbonați, concrețiunile calcaroase, cochiliile, și tot aici am putea menționa ceramica și mortarul, cu toate că, cu acestea din urmă, au fost obținute, în ultimul timp,

rezultate promițătoare. Diferitele materiale nu pot fi datate, deci, cu aceeași siguranță, fapt ce trebuie avut în vedere deja cu prilejul selectării mostrelor.

În sfârșit, nu trebuie să uităm că vârsta radiocarbon măsurată nu marchează vreun eveniment istoric, ci indică acel moment, în care a încetat interacțiunea organismului din care provine mostra cu rezervorul dinamic și a început dezintegrarea carbonului-14 acumulat în mostră. Prin urmare, pentru a obține determinări cronologice adecvate formulării unor concluzii istorice, trebuie să avem siguranța că mostrele selectate reprezintă, într-adevăr, fenomenul arheologic pe care dorim să-l datăm, că pornirea "cronometrului radiocarbon" este în legătură cu vreo activitate umană semnificativă din trecut (tăierea unui copac și folosirea lemnului pentru construcții sau încălzire, vânarea sau sacrificarea și consumarea unui animal etc.).

Reiese și din această scurtă trecere în revistă că siguranța datării radiocarbon depinde nu numai de valabilitatea metodei și de precizia măsurătorilor făcute în laborator ci, cel puțin în aceeași măsură, și de calitatea mostrelor, iar selectarea acestora este de datoria arheologului. Am putea afirma, deci, că datarea ^{14}C a obiectivelor arheologice începe pe șantier, odată cu prelevarea mostrelor, și că pentru rezultatele bune sau proaste este responsabil și arheologul.

În ceea ce privește această problemă din urmă, în completarea celor spuse mai sus despre integritatea mostrelor, este cazul să atragem atenția asupra unor cerințe cu privire la păstrarea și transmiterea către laboratoare a mostrelor. Acestea trebuie să fie uscate și ferite de fermentație sau de mucegai.

Trebuie evitat amestecul lor cu praf, fibre lemnoase, de bumbac sau de alte ţesături (ambalajul!), ori impregnarea lor cu grăsimi, cleiuri, solidificanţi şi solvenţi organici. În ceea ce priveşte ambalajul, este recomandat să se folosească cutii sau pungi metalice (din folie de aluminiu, de pildă) sau de plastic, suficient de rezistente şi bine închise. Mostrele ambalate trebuie însoţite de etichete, prin care pot fi identificate în mod inconfundabil. Mai mult, de un timp, odată cu primirea eşantioanelor, laboratoarele solicită şi o fişă pentru fiecare mostră în parte, conţinând informaţii detaliate despre aceasta: localizarea exactă (administrativă, topografică şi geografică - inclusiv longitudinea şi latitudinea), condiţiile, de descoperire (natura săpăturii şi a obiectivului arheologic, situaţia stratigrafică, eventuale posibilităţi de contaminare a mostrei), numele arheologului, data prelevării eşanţionului, scopul urmărit prin datare etc.

Cercetătorii şi-au dat seama relativ târziu de complexitatea problemelor legate de materialele ce urmează a fi datate. Începând cu anii '70 însă studiul mostrelor, ca factor ce influenţează precizia datării, a devenit un domeniu important, bine conturat, al cercetărilor radiocarbon. Asupra problemelor abia semnalate mai sus, vom mai reveni pe parcursul lucrării.

2.2. *Dezintegrarea radioactivă*

Carbonul-14, însoţit de hidrogen, se formează din azotul atmosferic, sub influenţa neutronilor produşi de radiaţia cosmică, procesul putând fi ilustrat în felul următor:

$^{14}N + n \rightarrow {}^{14}C + {}^{1}H$ (azot-14+ neutron → carbon-14+hidrogen)

Atomii C-14 fiind radioactivi se dezintegrează şi se retransformă în azot, procesul fiind însoţit de emisie de particule b:

$^{14}C \rightarrow {}^{14}N + b$ (carbon-14 → azot-14 + electron).

Presupunând că producţia (evaluată la 7,5 kg pe an) şi dezintegrarea ^{14}C se află în echilibru, conţinutul de radiocarbon al rezervorului dinamic ar trebui să se păstreze la acelaşi nivel. Această cantitate de echilibru este evaluată la 62 de tone (după alţii 60-80 tone), ce este amestecat cu cca 42 bilioane de tone de carbon-12. (Exprimat procentual, compoziţia izotopică a carbonului natural actual este următoarea: 98,89% ^{12}C, 1,11% ^{13}C şi 0,000.000.000.000.1% ^{14}C). Carbonul-14 este, deci, prezent în rezervorul dinamic doar într-o concentraţie foarte mică: raportul cantitativ între ^{12}C şi ^{14}C este de 10^{12}: 1,5. În ceea ce priveşte repartizarea acestei cantităţi infime de C-14 în diferitele compartimente ale rezervorului dinamic, exprimată procentual, ea se prezintă în felul următor: 1,5% se află în atmosferă, 2,5% în sol, cca 1% în biosfera terestră, 2% în apele de suprafaţă, 90-95% în apele adânci ale oceanelor.

2.2.1. *Radioactivitatea specifică* este caracterizată prin numărul dezintegrărilor nucleare produse într-un gram de carbon, într-un anumit interval de timp, de pildă într-un minut (dpm/gC = desintegrations per minute/gram Carbon). Într-un gram de carbon "viu", luat din rezervorul dinamic, există 6,6 x 10^{10} de atomi ^{14}C. Conform timpului de înjumătăţire, în fiecare 83 de ani se dezintegrează 1% din atomii ^{14}C. Astfel în fiecare gram al carbonului rezervorului dinamic se produc, pe minut, în medie, 14-15 descompuneri. (Prin măsurători de precizie, radioactivitatea specifică standard a materiei actuale a

fost stabilită ca fiind 13,56 ± 0,07 dpm/gC). Aceasta, exprimată în unitatea de măsură uzuală a radioactivității, este de aproximativ 0,25 becquerel sau 6,8 pikocurie. (1Bq = 1 descompunere pe secundă).

După moartea organismelor vii, în momentul în care încetează interacțiunea lor cu rezervorul dinamic, conținutul ^{14}C, și, în același timp, radioactivitatea specifică a substanței lor începe să se diminueze. În funcție de timpul de înjumătățire rectificat, de 5.730 ani, după acest interval, din atomii ^{14}C, prezenți inițial, numai jumătatea se va mai afla în mostră, după 11.460 ani numai un sfert, după 17.190 ani o optime ș.a. După trecerea a 57.300 ani, în mostră se va păstra mai puțin decât a mia parte (1/1024) a atomilor ^{14}C prezenți inițial. Radioactivitatea specifică (pe gram) a unei asemenea mostre va fi doar de 1 până la 2,2 dezintegrări *pe zi* (0,00026 becquerel, adică 0,007 pikocurie), ceea ce nu poate fi evidențiată decât cu instalații deosebit de sensibile (vezi: fig.3). Datarea radiocarbon este limitată tocmai de concentrația infimă de ^{14}C, respectiv nivelul de radioactivitate foarte scăzut al mostrelor mai vechi.

2.2.2. *Timpul de înjumătățire* ($T_{1/2}$). Conform ipotezelor lui Libby, dezintegrarea carbonului radioactiv s-a desfășurat, în decursul timpului, în mod uniform și timpul de înjumătățire poate fi stabilit cu suficientă exactitate. Evident, stabilirea precisă a timpului de înjumătățire constituie o condiție indispensabilă a determinării cronologice precise. Această afirmație este însă valabilă numai pentru datele cronologiei absolute. Un timp de înjumătățire inexact nu afectează funcția de determinare a cronologiei relative a datărilor radiocarbon:

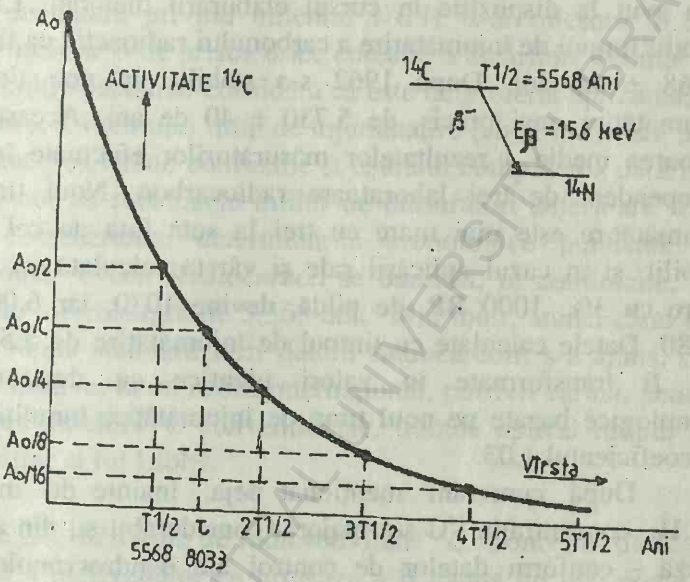


Fig.3. Descreşterea exponenţială şi schema dezintegrării radioactive a ^{14}C. Ao: radioactivitatea specifică originală a mostrei; T1/2: timpul de înjumătăţire a radiocarbonului; t (8033 ani): durata de viaţă medie a C-14; Eb: energia particulelor b⁻. (După W. G. Mook şi H. J. Streurman, 1983).

BCU CLUJ CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

indiferent de valabilitatea valorilor absolute, datele reflectă corect raportul temporal anterior-posterior.

Pe baza rezultatelor celor mai precise măsurători, pe care le-a avut la dispoziţie în cursul elaborării metodei, Libby a stabilit timpul de înjumătăţire a carbonului radioactiv ca fiind de 5.568 ± 30 ani. După 1962 s-a stabilit un nou timp de înjumătăţire, mai precis, de 5.730 ± 40 de ani. Aceasta este valoarea medie a rezultatelor măsurătorilor efectuate în mod independent de trei laboratoare radiocarbon. Noul timp de înjumătăţire este mai mare cu trei la sută faţă de cel iniţial stabilit, şi în cazul aplicării sale şi vârsta calculată va fi mai mare cu 3%. 1000 BP, de pildă, devine 1030, iar 6.000 BP 6.180. Datele calculate cu timpul de înjumătăţire de 5.568 ani pot fi transformate în valori identice cu determinările cronologice bazate pe noul timp de înjumătăţire înmulţindu-le cu coeficientul 1,03.

După cum am menţionat deja, înainte de mileniul II î.H., concentraţia ^{14}C s-a majorat considerabil şi, din această cauză - conform datelor de control ale dendrocronologiei - vârsta ^{14}C a mostrelor provenind din această perioadă este mult mai "joasă" (recentă) decât vârsta lor reală. Datele calculate pe baza noului timp de înjumătăţire - tocmai fiindcă sunt mai "ridicate" - se apropie mai mult de cronologia istorică. Se micşorează, în felul acesta, valoarea corecţiilor necesare, fără să se poată renunţa, totuşi, la ele. Aplicarea timpului de înjumătăţire de 5.730 ani nicidecum nu împacă, deci, cronologia radiocarbon cu cea istorică, exprimată în ani calendaristici. Pentru mileniile V-III î.H., de pildă, calibrarea propusă în urma studierii inelelor de creştere ale arborelui *Pinus aristata*

depășește de mai multe ori corecția devenită necesară în urma aplicării noului timp de înjumătățire. Potrivit unor evaluări, prin introducerea timpului de înjumătățire de 5.730 ani doar erorile de datare privind mileniul I d.H. s-ar micșora în așa măsură încât ar fi de prisos orice corecție a datărilor. Tocmai de aceea, mulți specialiști consideră că este de preferat aplicarea, în continuare, a vechiului timp de înjumătățire (chiar dacă este mai puțin exact) , evitând confuziile și ușurând compararea datărilor ^{14}C mai noi cu rezultatele miilor de măsurători anterioare. Din aceste considerente, determinările cronologice publicate în prestigioasa revistă *Radiocarbon* se bazează, în continuare, pe timpul de înjumătățire de 5.568 ani. Mai mult, atunci când s-a pus problema standardizării datării radiocarbon, s-a ajuns, din aceleași motive, la un acord internațional, potrivit căruia, pentru calcularea datelor ^{14}C convenționale, trebuie aplicat timpul de înjumătățire al lui Libby.

2.2.3. *Etaloane de radioactivitate ^{14}C.* Concentrația C-14 originală a materialelor ce urmează a fi datate nu mai poate fi stabilită prin măsurători directe. Astfel, în primii ani ai aplicării metodei radiocarbon, radioactivitatea actuală, remanentă, a mostrelor a fost comparată cu radioactivitatea materiei vii din zilele noastre. Pentru a înlătura influența dăunătoare a efectului combustibilului fosil și a celui datorat experiențelor nucleare, laboratoarele au început să folosească, pentru stabilirea radioactivității materiei de vârstă zero (deci ca standard recent) mostre de lemn, provenite din copaci ce crescuseră în prima jumătate a secolului al XIX-lea, înainte de revoluția industrială și de demarare a testelor nucleare. Firește, a fost luată în

consideraţie scăderea ulterioară a conţinutului de C-14. Folosirea unor astfel de etaloane diverse a îngreunat însă compararea cu siguranţă a datelor ^{14}C, stabilite în laboratoare diferite. Specialiştii şi-au dat seama, astfel, destul de timpuriu, de necesitatea determinării nivelului de radioactivitate original al mostrelor cu un etalon de autentificare internaţional. Potrivit convenţiei adoptate la conferinţa radiocarbon de la Groningen din 1959, laboratoarele folosesc de atunci, în acest scop, acidul oxalic distribuit de Oficiul Naţional de Standarde al Statelor Unite (U.S. National Bureau of Standards), cu sediul la Washington, D.C. Pe baza măsurătorilor ^{14}C comparate, efectuate pe ţesuturile unor copaci crescuţi în secolul trecut, 95% a radioactivităţii din anul 1958 a acidului oxalic NBS este socotită, prin consens, ca fiind identică cu radioactivitatea actuală (din anul 1950, an considerat drept "prezent" în determinările cronologice radiocarbon) a lemnului format în anul 1890. (În stabilirea factorului de 95% specialiştii au avut în vedere şi faptul că acidul oxalic a fost preparat după începerea testelor nucleare). Radioactivitatea specifică standard a acestei substanţe, socotită în cursul măsurătorilor drept "carbon actual", a fost stabilită ca fiind 13,56 ± 0,07 dezintegrări pe minut şi gram. Pentru înlăturarea unor posibile erori, izvorâte din măsurătorile cu acidul oxalic, şi datorită scăderii stocurilor de acest etalon, începând cu anii '70 au fost preparate şi etaloane internaţionale secundare (de pildă din zaharoză sau din lemn format între 1846 şi 1855 d.H.).

2.3. *Măsurarea radioactivității și datarea*

Metoda tradițională a stabilirii conținutului de ^{14}C al mostrelor se bazează pe numărarea (contorizarea) dezintegrărilor radioactive. Mai recent, pentru determinarea raportului ^{14}C / ^{12}C din mostră sunt detectați înșiși atomii de carbon, cu ajutorul acceleratoarelor de particule. Această metodă din urmă va fi tratată în paragraful 2.3.6.

2.3.1. *Măsurarea radioactivității.* Întrucât radioactivitatea specifică a ^{14}C este foarte redusă (chiar și în cazul carbonului recent numai 13,6 dpm/gC, iar în cazul unei mostre de 50.000 de ani abia 0,03 dpm/gC), măsurarea radioactivității, detectarea dezintegrărilor, respectiv, a particulelor beta a însemnat, de la început, o sarcină deosebit de grea pentru specialiști. Contorizarea trebuie să fie foarte eficientă. ceea ce necesită un timp de măsurare îndelungat, asigurarea unui nivel de radiație de fond jos și constant, izolarea cât mai perfectă a camerei de contorizare. O dificultate în plus reprezintă faptul că energia particulelor beta, emise de altfel, într-un număr atât de mic, este foarte joasă (în medie 1 MeV), puterea lor de pătrundere este redusă. În felul acesta, efectuând măsurarea dintr-o sursă exterioară, marea majoritate a dezintegrărilor nu ar putea fi detectată. Mostra trebuie introdusă, deci, în interiorul camerei de contorizare, ceea ce este posibil prin mai multe metode.

Procedeul folosit inițial de Libby a fost *metoda carbonului solid.* În cursul acestuia mostra este arsă și transformată în dioxid de carbon care, după purificare, este redus pentru a forma negru de fum. Acesta, la rândul său, este uns pe peretele interior al unui contor cu ecran - un detector

Geiger modificat. Cu această metodă nu poate să fie detectată decât o mică parte a dezintegrărilor ce se produc şi, din această cauză, sunt necesare mostre cu o masă relativ mare, condiţie ce nu totdeauna poate fi îndeplinită. Totodată - deoarece în cursul operaţiunii mostra vine în contact cu aerul - există şi pericolul contaminării radioactive a eşantioanelor.

Dorind să înlăture dezavantajele acestei metode, în anii 1952-1953 H. de Vries a elaborat o nouă metodă: a construit un *contor proporţional de gaze* pentru măsurarea mostrelor transformate în dioxid de carbon (gas counting, GC). Aplicând această metodă poate fi obţinută o mare eficienţă de detectare, pentru măsurători este suficientă o mostră cu masă mică (cu un conţinut de carbon de 1-2 g), nivelul radiaţiei de fond poate fi redus la minimum. În laboratoarele lumii această metodă este cea mai răspândită şi astăzi. Pentru a elimina cerinţa marei purităţi a dioxidului de carbon, numeroase laboratoare preferă să utilizeze alte gaze de măsurare: acetilenă (C_2H_2), metan (CH_4) sau etan (C_2H_6).

Un procedeu pus la punct mai recent (dar anticipat deja în 1954 de J.R.Arnold) este *metoda scintilaţiei lichidului* (liquid scintillation couting, LS), o metodă a măsurării mostrei în stare lichidă, sub formă de solvent organic, într-un contor cu scintilaţie (scintilaţie = strălucire subită, de scurtă durată). Metoda este bazată pe faptul că substanţele scintilatoare, excitate de particulele beta, emit fotoni, care, amplificaţi şi transformaţi în impulsuri electrice, sunt număraţi. Dioxidul de carbon, rezultat în urma arderii mostrei, este transformat, de obicei, în benzen (C_6H_6), folosit ca solvent al scintilatorului lichid. În cursul măsurării, două fotomultiplicatoare detectează

scintilaţiile produse de particulele beta ale carbonului radioactiv ce se dezintegrează în solventul umplut în fiole (în general cu o capacitate de 20 cm^3). Această metodă, din multe puncte de vedere (de pildă din cel al sistemului de numărare), este mai simplă decât metoda măsurării gazului, dar, pe de altă parte, tratarea chimică a mostrei este mai pretenţioasă, stabilirea radiaţiei de fond este mai complicată. În acelaşi timp, contorul cu scintilaţie este mai adecvat pentru măsurarea eşantioanelor mari, conţinând până la 10 g de carbon, şi mai puţin operaţional pentru măsurarea radioactivităţii mostrelor cu un conţinut redus de carbon (mai puţin de 1 g). Este, deci, clar că fiecare metodă prezintă atât anumite avantaje cât şi dezavantaje.

Aparatele de numărare detectează, din nefericire, nu numai dezintegrarea atomilor ^{14}C prezenţi în mostră, ci şi radioactivitatea de fond, cauzată de radiaţia cosmică pătrunsă până la suprafaţa Terrei, de radioactivitatea mediului şi chiar cea a instalaţiei de măsurare. Aceasta nu este de loc neglijabilă, căci nivelul fondului poate depăşi radioactivitatea unei mostre vechi. Se străduieşte ca nivelul de fond să fie diminuată la minimum, pe de o parte printr-o protecţie cât mai eficientă faţă de radiaţia exterioară, iar pe de altă parte prin construirea contorului din materiale cu radioactivitate joasă (cupru foarte curat sau cuarţ). Instalaţia de detectare este izolată printr-un "scut" cu structură complexă. Învelişul exterior al acestuia constă dintr-un blindaj de fier sau oţel, gros de 10-20 cm şi având o masă de până la 10-12 tone. Radiaţia care trece peste acest obstacol este absorbită de parafină şi de acid boric, urmând apoi un strat protector din plumb de radioactivitate joasă, gros de 10-20 cm. În interiorul acestui scut este plasată camera de contorizare, de

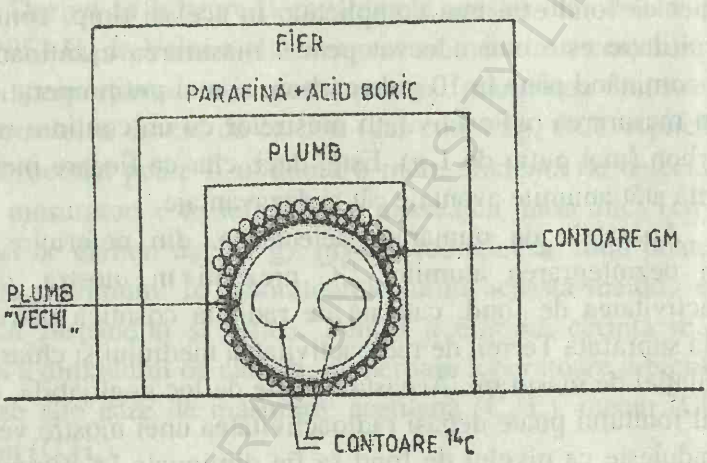


Fig.4. Amplasarea tipică a unui contor proporţional de gaze. Învelişul protector de fier-parafină-plumb şi contoarele G-M anti-coincidenţă au menirea de a reduce radioactivitatea de fond. (Dupa W.G.Mook şi H. J. Streurman, 1983).

BCU / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

formă cilindrică, înconjurată cu un nou strat de plumb şi cu o "coroană" de 20-30 contoare Geiger-Müller "anti-coincidenţă", servind la detectarea (şi, deci, eliminarea din calcul) a particulelor radiaţiei cosmice, care au reuşit să penetreze până aici (fig.4). În vederea diminuării şi mai eficiente a nivelului radiaţiei de fond s-a recurs şi la folosirea betonului ca material protector, iar de la mijlocul anilor '70 s-a încercat construirea unor laboratoare subterane. Trebuie reţinut, totuşi, că izolarea materială şi electronică a detectorului ^{14}C nu este niciodată perfectă şi nici instalaţia în sine nu este lipsită cu totul de radioactivitate. Nivelul de fond al contorului nu este, deci, niciodată zero, dar, cel puţin în cazul unui contor proporţional de gaze pot fi obţinute valori foarte scăzute (sub 1 impuls pe minut şi litru).

2.3.2. *Datarea* se face cu metode matematice, pe baza valorilor măsurate ale radioactivităţii şi a timpului de înjumătăţire. Precizia măsurătorilor este influenţată de mai mulţi factori, înainte de toate cantitatea şi calitatea materiei măsurate, durata măsurării, intensitatea radiaţiei de fond. O eroare aparte poate rezulta din modificarea în timp a sensibilităţii de detectare sau a nivelului radiaţiei de fond. În scopul comparării valorilor de activitate, este necesar să se măsoare, separat şi repetat, radioactivitatea mostrei, a etalonului şi a fondului. Constanţa radiaţiei de fond se verifică din când în când prin introducerea în contor - sub formă adecvată - de carbon fosil, a cărui radioactivitate este zero. Numărul descompunerilor legate de radiaţia de fond trebuie scăzut din suma dezintegrărilor detectate în cursul timpului de măsurare: pentru determinarea vârstei se ia

în considerație numai radioactivitatea ^{14}C netă. Ţinând seama de radioactivitatea slabă (şi odată cu creşterea vârstei mostrei mereu scăzândă) a carbonului-14, de numărul redus al dezintegrărilor ce se produc într-o anumită unitate de timp, măsurătorile trebuie efectuate timp îndelungat: cu cât mai lung este timpul de măsurare, cu atât mai mică va fi - cel puţin teoretic - nesiguranţa, exprimată procentual, a vârstei calculate. Conform evaluărilor, pentru stabilirea vârstei mostrei cu o precizie de ± 1%, este necesar să se detecteze cel puţin 10.000 de particule beta. În funcţie de vârsta şi conţinutul de carbon pur al mostrei, precum şi de calitatea instalaţiei de detectare, timpul de măsurare necesar este cuprins, în general, între 24 de ore şi 168 ore (o săptămână). În condiţii standard, timpul de măsurare este de 2.760 minute (2 x 23 ore). Pentru a menţiona şi un exemplu concret: mostrele de lemn, de 6-9 grame, prelevate din resturile de nave gallo-romane (datate tipologic în secolele I-III d.H.), descoperite nu de foarte multă vreme cu ocazia construirii canalului Hensies - Pommeroeul, au fost măsurate în laboratorul de radiocarbon de la Bruxelles timp de 2 x 1200 minute (de fiecare dată de câte 30 de ori, timp de câte 40 de minute).

După ce, în mod repetat, a fost măsurată atât radioactivitatea actuală a mostrei (A), cât şi activitatea etalonului, care, prin consens, este considerată identică cu radioactivitatea specifică iniţială a mostrei (A_0), din raportul celor două valori, şi ţinând seamă de timpul de înjumătăţire, poate fi calculat intervalul de timp (t) în care nivelul radioactivităţii a scăzut de la A_0 la A. Aceasta este vârsta radiocarbon "directă" (convenţională) a mostrei, exprimată în ani ^{14}C şi socotită înainte de prezent (= anul 1950 d.H.).

Desigur, acesta este doar principiul. Pentru cei interesaţi, iată şi formula calculării vârstei unei mostre (t):

$$t = \frac{l}{\lambda} \log_e \frac{Ao}{A}$$

unde l este constanta de dezintegrare a radiocarbonului ($0{,}693/T_{1/2}$, ca timp de înjumătăţire avându-se în vedere, după cum am arătat, perioada de 5568 ani); $\log_e$ este formula unui logaritm neperian, având la bază numărul e (=2,718281); A este radioactivitatea măsurată a mostrei, determinată de concentraţia ^{14}C existentă în ea; iar A_0 este radioactvitatea măsurată a unui eşantion de carbon recent, adică a etalonului, considerată ca identică cu radioactivitatea originală a mostrei supuse datării.

Teoretic, vârsta unei mostre, în care raportul A/A_0 este 1/2, ar trebui să fie 5568 ani, deci egală cu timpul de înjumătăţire al radiocarbonului, iar dacă raportul A/A_0 este 1/4, vârsta calcutală ar trebui să fie 11.136 ani BP, desigur în limitele unei marje de eroare.

2.3.3. *Deviaţia standard.* Toate datele ^{14}C reprezintă, de fapt, o valoare statistică medie. Întrucât dezintegrarea radioactivă este un fenomen spontan dar aleatoriu, vitezele de descompunere a atomilor C-14 oscilează accidental în jurul unei valori medii. Prin urmare, măsurarea repetată, în condiţii identice, a aceleiaşi mostre va da rezultate diferite. Această nesiguranţă privind valorile măsurate ale radioactivităţii poate fi caracterizată printr-o eroare statistică. S-a stabilit, astfel, că dacă contorul detectează în cursul unui interval de timp *t* un număr de *n* particule beta, atunci există o şansă de 68% ca viteza medie de dezintegrare reală să se situeze între valorile

$$\frac{n-\sqrt{n}}{t} \text{ și } \frac{n+\sqrt{n}}{t}$$

Marja de eroare poate fi exprimată și procentual:

$$\pm \frac{100}{\sqrt{n}} \%$$

ceea ce înseamnă că nesiguranța procentuală este cu atât mai mică, cu cât timpul de măsurare este mai lung. Pentru a obține o marjă de eroare de ±1%, este necesar să se numere $n = 10.000$ de particule. Nesiguranța în viteza de dezintegrare măsurată va cauza o nesiguranță corepunzătoare și în vârsta calculată a mostrei. Întrucât 1% din atomii ^{14}C se dezintegrează în 83 de ani, o nesiguranță de $\pm x\%$ a vitezei de dezintegrare determină o nesiguranța de $\pm 83x$ ani în datarea mostrei. De aceea, potrivit practicii comunicării determinărilor cronologice radiocarbon, pe lângă vârsta medie calculată se indică, printr-o deviație ±, exprimată în ani, și acele valori extreme, între care se încadrează, după o probabilitate bine determinată, datările bazate pe rezultatele măsurării repetate a mostrei. Aceasta este deviația standard a vârstei unei mostre, notată cu litera *s (sigma)* a alfabetului grec. În sensul celor arătate mai sus, șansa ca rezultatele unor noi măsuratori ale aceleiași mostre să se încadreze între limitele semnalate, deci ca data reală a mostrei să fie în interiorul limitei de timp de ± 1*s* în jurul vârstei calcule este aproximativ 2/3 din cazuri (68%). Prin dublarea deviației standard, deci prin extinderea limitelor datării la ± 2*s*, probabilitatea va crește la 95,5%, iar în cazul a ±3*s* la 97,7%

(vezi fig.5). Data de 5780 ± 50 BP, stabilită în laboratorul de la Berlin (nr. analizei: Bln - 2782) pe o mostră de lemn prelevată din stratul de cultură Precucuteni III al așezării de la Poduri, jud. Bacău, indică, de pildă, că vârsta mostrei, cu o probabilitate de 68%, se situează între 5830 și 5730 BP. Conform datei de 5880 ± 150 BP (Bln - 2803), obținută pe boabe de cereale carbonizate, provenite din același strat, mostra poate fi datată, tot cu o probabilitate de 68%, între 6030 și 5730 BP.

Laboratoarele calculează (și publică), de obicei, deviații standard de ± 1s. În funcție de vârsta și de calitatea mostrei, de precizia instalației, această marjă de eroare se întinde, în general, de la ± 50 la ± 150 de ani, putând fi, însă, mai mică sau mai mare. Datele ^{14}C trebuie interpretate, deci, în conformitate cu aceste limite de eroare și nu trebuie pierdută din vedere nici posibilitatea de 32% ca unele date să se situeze în afara marjei indicate. (Mai trebuie menționat că, în zilele noastre, la stabilirea deviației standard, laboratoarele au în vedere doar nesiguranța experimentală. Ea nu include, deci, posibilitățile de eroare, datorate altor factori, cum ar fi perioada de înjumătățire, poluarea și/sau vârsta aparentă a mostrei, oscilațiile concentrației ^{14}C a atmosferei etc. care, împreună, se pot ridica la mai multe sute de ani. Aceste erori necesită, fiecare în parte, corecții adecvate, speciale).

În ceea ce privește semnificația deviației standard, părerea arheologilor este împărțită. Unii iau în considerație numai data centrală. Arheologul ceh Evzen Neustupný, de pildă, într-un studiu publicat în 1968, și-a formulat foarte tranșant opinia, potrivit căreia toți aceia, care consideră că orice dată din interiorul marjei de timp indicat ar putea reprezenta cu aceeași

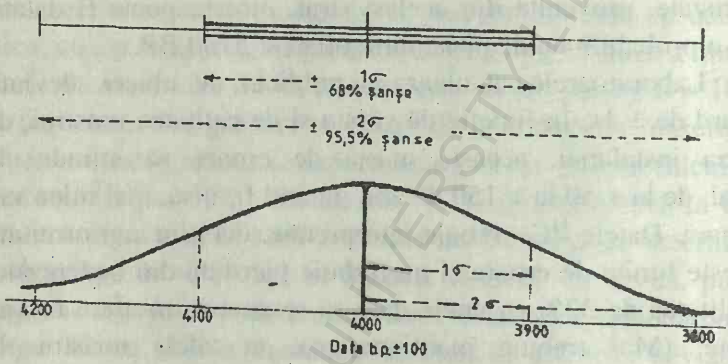


Fig. 5. Ilustrarea deviaţiei standard de ± 1s (68% probabilitate) şi de ± 2s (95,5% probabilitate) printr-o margine de incertitudine în jurul valorii centrale (sus) şi prin ariile incluse în interiorul unei curbe Gauss (jos). (După P.R. Giot şi L. Langouet, 1984).

BCU "LUCIAN BLAGA" CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

probabilitate vârsta reală a mostrei, supraapreciază însemnătatea deviației standard. După părerea sa, media unui număr de măsurători independente ar avea șanse mai mari de a se apropia de valoarea centrală a unei datări individuale, și, în același timp, de a se apropia cel mai mult de vârsta reală a mostrei. Dimpotrivă, cunoscutul arheolog și specialist în metoda ^{14}C, Hans Quitta, care a condus vreme îndelungată laboratorul radiocarbon de la Berlin, din fosta RDG, este de părere, în consens cu fizicienii, că toate datele cuprinse între cele două extreme ale deviației standard au aceeași valoare ca data centrală. Datările radiocarbon au, prin urmare, o anumită întindere în timp, în cuprinsul căreia data reală a mostrei se poate afla mai aproape sau mai departe de valoarea centrală. După cum s-au exprimat foarte plastic P.R. Giot și L.Langouet, este cu totul incorect ca arheologii să se lase "hipnotizați" de valoarea centrală, considerând-o ca o dată de calendar.

Studiile competente, publicate mai nou, cu privire la cronologia radiocarbon a unei epoci, culturi sau a unor obiective preistorice analizează și interpretează deja în acest sens datele ^{14}C, exprimate și în grafice deosebit de sugestive. Pe aceste grafice, valorile centrale și extreme ale determinărilor cronologice sunt reprezentate prin linii marcate la mijloc, având o lungime proporțională cu întinderea deviației standard, linii ce sunt proiectate pe o scală a timpului. Legitățile statistice, ce se întrupează în datele ^{14}C - independent de celelalte surse de eroare, proprii metodei - ne avertizează că determinările cronologice radiocarbon sunt aproximative și numai în cazurile cele mai rare pot asigura pentru arheologia preistorică datări absolute în sensul adevărat al cuvântului.

Nesiguranța datării calculate, respectiv, deviația standard, crește (în mod asimetric) odată cu vârsta mostrei, adică odată cu scăderea radioactivității ei. Această creștere, după datele lui W.G. Mook și H. J. Streurman, poate fi caracterizată printr-un factor de $\sqrt{2}$ pentru fiecare interval egal cu timpul de înjumătățire. Deviația standard depinde, în aceeași măsură, și de conținutul de carbon al mostrei. Întrucât instalațiile de detectare funcționează în condiții standard, este necesară o cantitate dată de gaz de măsurare, respectiv, de o mostră de carbon cu o masă corespunzătoare. În cazul în care masa mostrei nu este suficientă, ea este completată cu gaz inactiv, preparat din carbon fosil. În sensul celor discutate mai sus, un asemenea procedeu mărește nesiguranța vârstei calculate a mostrei. Dacă, de pildă, avem la dispoziție doar jumătatea cantității de carbon necesară, deviația standard se va mări de $\sqrt{2}$ ori și, totodată, vârsta determinabilă se scurtează cu un interval de timp corespunzător unei perioade de înjumătățire.

În sfârșit, deviația standard își are semnificația sa și în compararea datelor radiocarbon. Se apreciază, din considerente statistice, că dacă se compară două date ^{14}C, având deviația standard σ_1, respectiv, σ_2, și dacă diferența între cele două date este mai mare decât $\sigma_1 + \sigma_2$ atunci, cu o probabilitate de 90%, "evenimentele" reprezentate de cele două mostre nu sunt contemporane. Dacă avem în vedere, însă, principiul că o singură dată radiocarbon nu poate fi luată în considerație, asemenea comparații își au rostul numai în cazul existenței unor serii de date ^{14}C.

2.3.4. *Limita vârstei determinabile.* Radioactivitatea mostrelor foarte vechi este atât de redusă, încât abia dacă poate fi depistată și distinsă de radiația de fond, ceea ce, firește, limitează vârsta determinabilă cu metoda radiocarbon. Cu o instalație ce poate fi considerată astăzi tipică și în condiții optime, această limită (T_{max}) este în jur de 50.000 de ani, dar există laboratoare care nici nu se angajează la măsurarea unor mostre foarte vechi. (În laboratorul Institutului de Cercetări Nucleare al Universității din Debrecen, Ungaria, de pildă, nu au fost datate, inițial, mostre mai vechi de 13.000 de ani). Dacă nivelul radiației de fond este mai jos, timpul de detectare este mai lung și masa eșantionului (respectiv capacitatea camerei de detectare) este mai mare, devine mai ridicată și vârsta determinabilă. După cei doi autori, deja citați, Mook și Streurman, dacă timpul de măsurare se prelungește de 4^n ori, vârsta măsurabilă se prelungește cu n timpi de înjumătățire. Pentru a se putea data descoperirile preistorice din faza de început a ultimei glaciațiuni (având o vârstă evaluată la cca 70.000 de ani), ar fi nevoie de un timp de măsurare de aproximativ 200 de zile și de un contor de relativ mare capacitate (cca 2 l). În practică, aceste condiții sunt dificil de realizat. De asemenea, sunt puține șanse să fie dezvoltate instalații de detectare în care nivelul radiației de fond să se diminueze substanțial. Par a constitui, mai degrabă, o cale de urmat încercările laboratoarelor de la Berna (Elveția), Seattle (SUA) și Pretoria (Republica Sud-Africană) de a coborâ instalațiile de detectare mai adânc sub nivelul solului, radiația de fond putând fi diminuată, astfel, la jumătate. Odată cu mărirea capacității contoarelor, mai mult sau mai puțin proporțional

crește și nivelul radiației de fond, astfel că nici aceasta soluție nu este oportună, fără a mai insista și asupra faptului că prelungirea limitei vârstei determinabile cu o perioadă egală cu 4 timpi de înjumătățire ar necesita mărirea de 64 ori a capacității contorului, pentru a putea încăpea o cantitate de cca 300 l de gaz. Laboratoarele instalate pentru măsurători de precizie - cum este, de pildă, cel de la Groningen - sunt capabile să determine, prin măsurători ce durează aproximativ patru zile, vârsta unor mostre vechi de 60-62.000 de ani. Este de așteptat ca, în viitor, prin metoda mai nouă, a numărării atomilor, să devină posibilă și datarea unor mostre mai vechi.

2.3.5. *Măsurarea unor mostre cu masă redusă.* În unele cazuri nu stau la dispoziție mostre cu masa corespunzătoare cerințelor standard. Deja în anii '60, deci cu mult înainte de elaborarea metodei numărării atomilor, au fost experimentate contoare cu gaz miniaturale, cu ajutorul cărora, prin tehnica tradițională a numărării dezintegrărilor, s-a încercat determinarea vârstei unor mostre foarte mici. În 1963, de pildă, au fost efectuate măsurători pe mostre conținând numai 19 mg de carbon, provenite din meteoriți. Activitatea unor mostre atât de mărunte este infimă și, în condiții ideale, chiar și măsurarea materialelor relativ recente trebuie efectuată timp de cel puțin 50 de zile pentru a obține o precizie de ± 1%. Asigurarea pe un timp atât de îndelungat a eficienței de detectare și a stabilității radiației de fond este deosebit de dificilă. Nu este, deci, de mirare că această problemă a redevenit la ordinea zilei abia în anul 1976, prin strădaniile colaboratorilor Laboratorului Național de la Brookhaven (SUA).

Dezvoltarea instalațiilor de detectare ^{14}C miniaturale a reprezentat un însemnat pas înainte în datarea radiocarbon. Ele pot fi utilizate nu numai în arheologie ci și în multe alte domenii; de pildă, cu această metodă au fost efectuate măsurători și pe mostrele prelevate din rocile lunare, colectate în cursul programului Apollo. Primele rezultate ale laboratorului de la Brookhaven au fost comunicate în 1979, la o conferință internațională de arheometrie. Conform dării de seamă, specialiștii au reușit să supună mostrele, transformate în dioxid de carbon, unor măsurători stabile, în cursul unor perioade de peste 70 de zile. Încurajat de aceste rezultate, laboratorul de la Harwell din Anglia, cu sprijinul specialiștilor de la Brookhaven, a început, în toamna anului 1979, construirea unei instalații similare, utilizând cuceririle de vârf ale electronicii. Instalația, compusă din 12 contoare de capacitate diferită, este capabilă să efectueze anual 100-200 măsurători de rutină, pe mostre nu mai vechi de 30-40.000 ani, cu un conținut de carbon de cca 10 mg.

2.3.6. *Metoda numărării atomilor.* Astrofizicianul Richard Müller, de la Universitatea Berkeley (California, SUA), a ajuns la concluzia, în 1976, că acceleratoarele folosite pentru studierea particulelor elementare ar putea fi aplicate și în datarea materialelor vechi. Spre deosebire de metoda tradițională (potrivit căreia sunt detectați doar atomii ^{14}C care tocmai se dezintegrează în timpul detectării), prin utilizarea acceleratoarelor de particule, aplicate ca spectrometre de masă, sunt numărați înșiși atomii ^{14}C, prezenți în mostră (accelerator mass spectometry, AMS). În felul acesta, pentru a obține o datare fiabilă, este suficientă și o mostră având o masă de

1.000-10.000 de ori mai mică, de numai câteva miligrame, și tocmai acesta este unul din marile avantaje ale metodei numărării atomilor față de metoda tradițională. Principiul metodei poate fi rezumat astfel: carbonul extras din mostră este transformat (la o temperatură ridicată și sub presiune înaltă) în grafit și bombardat, în accelerator, cu ioni pozitivi. În timp ce atomii de carbon eliberați, cu încarcătură negativă, trec în viteză prin instalație, atomii ^{12}C, mai ușori, separați de atomii ^{14}C, mai grei, cu ajutorul unor magneți, sunt dirijați în contoare separate. În cazul unei mostre recente pot fi detectați aproximativ 1100 de atomi ^{14}C pe minut. Vârsta mostrei este determinată pe baza raportului între numărul atomilor $^{12}C/^{14}C$.

Începând cu 1977, experiențele mai multor laboratoare (mai ales nord-americane) au demonstrat că spectrometrele de masă pot fi utilizate, într-adevăr, la detectarea radiocarbonului și a altor izotopi rari, prezenți într-o concentrație foarte mică. Pe de altă parte, a devenit clar că instalațiile existente nu pot asigura precizia de detectare, necesară datărilor radiocarbon. La prima conferință internațională, consacrată problemelor determinărilor cronologice radiocarbon cu acceleratoare de particule, organizată în 1978 la Rochester (SUA), s-a hotărât, tocmai de aceea, să se construiască instalații speciale, de mare sensibilitate, în scopul datării radiocarbon. Primele asemenea instalații au început să funcționeze la începutul anilor '80 (Tucson, Arizona, SUA; Oxford, Anglia; Toronto, Canada; Zürich, Elveția etc.), iar un studiu publicat în 1983 menționează deja 21 de laboratoare din America, Europa, Australia și Japonia, care s-au angajat în cercetările radiocarbon cu acceleratoare de particule. (A se vedea și lista noastră, care

cuprinde 23 asemenea laboratoare.) J.A.J. Gowlett estima numărul datărilor ^{14}C efectuate cu metoda numărării atomilor în primii cinci ani de după pornirea acestor cercetări la 5000, ceea ce constituie aproximativ o zecime a determinărilor cronologice radiocarbon convenționale, efectuate până la începutul anilor '80.

Avantajul metodei numărării atomilor constă, înainte de toate, în faptul că pentru datare este nevoie doar de o mostră minusculă și măsurarea poate fi efectuată într-un timp scurt. Pot fi datate și mostrele cu o masă mai mică de un miligram, tratarea acestora este însă greoaie; de aceea laboratorul de la Oxford, de pildă, stăruie pentru introducerea unor mostre standard, conținând 5 mg de carbon. Dacă - în cazuri excepționale - nu există decât un material extrem de redus, poate fi satisfăcătoare și o mostră cu o masă de 20-50 micrograme pentru a determina vârsta cu o nesiguranță statistică de ± 2%. (În literatura de specialitate sunt menționate și măsurători efectuate pe mostre - e drept, mai recente - cu o masă de numai 10 micrograme). Datarea mostrelor foarte mici poate fi avantajoasă nu numai pentru arheologia înțeleasă în sens restrâns, dar și din punctul de vedere al muzeologiei: pentru determinări cronologice pot fi prelevate mostre chiar și din piesele cele mai valoroase, păstrate cu grijă, fără a suferi vreo deteriorare.

Măsurarea se efectuează, în general, timp de 1-2 ore, dar în cazul mostrelor vechi de numai câteva milenii și de calitate ireproșabilă pot fi obținute rezultate bune (cu o eroare statistică de sub 1%) și prin măsurători de abia o jumătate de oră. Randamentul laboratoarelor poate fi mărit astfel considerabil (câteva mii de datări pe an), dar nu trebuie să pierdem din

vedere faptul că în cursul tratării acestor cantităţi infime de materiale există în mod sporit pericolul poluării. De aceea, trebuie acordată o grijă deosebită preparării mostrelor şi păstrării purităţii acestora, ceea ce este o condiţie fundamentală a reuşitei întregului procedeu de datare. Cu scopul de a înlătura poluarea cu materiale străine, unii specialişti preferă carbonul extras din mostrele de os, căci osul conţine substanţe specifice, cum este colagenul, iar în componenţa acestuia hidroxi-prolina, care se întâlnesc numai foarte rar în alte materiale.

Un domeniu de aplicare posibil, special al noii metode, este datarea directă a obiectelor de fier, dacă acestea conţin o cantitate suficientă de carbon (urmând procedeul tradiţional, carbonul trebuia extras, în prealabil, din obiectele de fier). În acest scop, cel mai recomandabil este fonta, care are un conţinut de carbon de 1,5-5%. Topirea şi turnarea fierului sunt însă invenţii medievale; obiectele de fier caracteristice pentru epocile mai îndepărtate, făurite din fier forjat, cu un conţinut redus de carbon, pot fi datate numai cu dificultate.

Se pare că, momentan, conţinutul de ^{14}C al mostrelor nu poate fi mai precis determinat nici cu metoda numărării atomilor faţă de procedeul tradiţional. Totuşi măsurătorile pot deveni mai fiabile, iar determinările cronologice mai autentice prin posibilitatea datării unor mostre selectate cu grijă, prelevate din materiale strâns legate de anumite obiecte sau obiective arheologice, dar prezente doar într-o cantitate foarte mică. Mostrele de cărbune sunt, adesea, prost conservate, sfărâmate şi, din această cauză, nu o dată, este necesar să se preleve multe fragmente mai mici sau mai mari - nu neapărat conexe iniţial - pentru a aduna cantitatea necesară unei datări tradiţionale.

Vârsta astfel calculată nici nu este o dată adevărată ci un fel de valoare medie "combinată". Este evident că pentru arheologie ar fi mult mai prețioase datele individuale calculate pe baza fracțiunilor de cărbune. Acestea devin acum accesibile datorită metodei numărării atomilor, și, nu întâmplător, în cadrul programului de datare radiocarbon cu acceleratorul de particule de la Oxford se acordă o atenție deosebită studierii fracțiunilor de cărbune descoperite în cursul săpăturilor efectuate în așezarea neolitică de lângă Dorchester. Măsurarea separată a fracțiunilor unor mostre poate să scoată în evidență și poluarea sau contaminarea mostrei. O dificultate, frecvent întâlnită, constă și în datarea obiectelor de metal, mai ales dacă ele fac parte din depozite sau sunt descoperite izolat și nu este asigurată legătura lor cu așezările și necropolele contemporane. În cadrul amintitului program de la Oxford s-a încercat, printre altele, și datarea unor unelte și arme de bronz pe baza resturilor cozii de lemn, uneori păstrate, sau, în cazul descoperirilor funerare, pe baza mostrelor de os, prelevate din scheletele umane.

Pentru a ilustra posibilitățile metodei numărării atomilor, vom cita câteva exemple din practica laboratorului Universității din Toronto (Canada), pe baza datelor lui R.P. Beukens. În acest laborator, în colaborare cu Universitatea din Rochester (New York, SUA), datările cu noua metodă au fost începute în 1977. Au fost efectuate mai multe măsurători pe mostre, a căror vârstă a fost deja stabilită cu metoda tradițională, devenind posibilă, astfel, compararea rezultatelor celor două modalități de detectare a carbonului - 14. În urma măsurării mostrei de grafit, cu masa de 9 mg, preparată din resturile de cărbune adunate de

pe panta vulcanului Mt. Shasta din California de Nord, a fost obținută data de 4580 ± 90 BP. Vârsta măsurată cu metoda tradițională a fost de 4590 ± 250 BP, cele două date au fost, deci, aparent, în concordanță și păreau a sugera încredere. În realitate însă rezultatele măsurătorilor efectuate separat pe fracțiunile mostrei prezentau o fluctuație de 500 de ani, ceea ce indică poluarea/contaminarea mostrei, ce nu putea fi scoasă la iveală cu metoda tradițională. (Este de precizat că data menționată mai sus a fost calculată pe baza omogenizării întregului material al mostrei).

Cum poate fi prelevată dintr-o descoperire valoroasă o mostră corespunzătoare datării radiocarbon, fără vătămarea obiectului, ne poate demonstra determinarea vârstei ^{14}C a unei mumii de taur din perioada ptolemeică timpurie a Egiptului elenistic, descoperit la Dahsur. Din învelișul de pânză al mumiei a fost tăiată o bucățică care a fost transformată într-o mostră de grafit cu o masă de 0,9 mg. Măsurată prin metoda numărării atomilor, rezultatul obținut a fost 2200 ± 150 BP, ceea ce a fost apreciat ca fiind în bună concordanță cu data de 2050 ± 200 BP, determinată prin procedeul tradițional. Îndrăznim să adăugăm: această afirmație poate fi corectă din punctul de vedere al fizicianului, dar ne îndoim că îl poate liniști pe arheologul sau istoricul. Dacă avem în vedere amândouă datele, valorile extreme (2350 și 1850) delimitează un interval de timp de 500 de ani (radiocarbon), în timp ce întreaga epocă ptolemeică, începând cu Ptolemaios I Soter și terminând cu soția lui Ptolemaios al XV-lea, Cleopatra, respectiv, cu Caesarion, fiul Cleopatrei și al lui Caesar, a durat mai puțin de 300 de ani (321-30 î.H.).

În pasta ceramicii preistorice au fost amestecate, adesea, materiale organice, pentru degresarea lutului. Cu noua metodă s-a încercat și datarea carbonului extras din degresant. Pentru scopurile datării a fost ales un fragment ceramic, descoperit într-o așezare a culturii Jomon, răspândită în Japonia, așezare care a fost încadrată de specialiști în perioada timpurie/mijlocie a culturii amintite, datată, pe baza determinărilor cronologice ^{14}C, obținute până atunci, între 7000 și 5000 BP. În vederea îndepărtării carbonului de origine străină (provenit, de pildă, din depunerile de carbonați de pe ceramică sau din rădăcinile fine ale plantelor) a fost aplicată o pretratare minuțioasă. Mostra a fost transformată, în fine, în 2 mg de grafit, datarea obținută fiind 5800 ± 1600 BP. Deviația standard enormă, respectiv intervalul de timp extraordinar de întins între valorile extreme ale vârstei calculate ne avertizează că datarea carbonului extras din ceramică nu va deveni, în viitorul apropiat, o sarcină de rutină nici prin aplicarea noii metode. Principala cauză constă în faptul că este aproape imposibil de a extrage o mostră lipsită de impurități din compoziția ceramicii, ce conține doar o cantitate infimă de carbon. Nu este exclus că vor putea fi obținute rezultate mai bune prin datarea unor eventuale reziduuri de alimente (grăsimi, de exemplu) prezente în ceramică. (Asupra problemelor datării ceramicii mai revenim și în paragrafele următoare ale lucrării).

Evaluând rezultatele, Beukens a ajuns la concluzia că nesiguranța reală a determinărilor cronologice varia între 1% și 20%; drept caracteristic putând fi considerat domeniul între 3% și 5%. Deoarece eroarea rezultată din statistica de măsurare a fost sub 1%, trebuie avută în vedere și influența altor factori, încă nu îndeajuns cunoscuți. Sursa erorii adiționale trebuie să fie

în legătură (și) cu mostre; pentru înlăturarea acesteia au fost elaborate, între timp, procedee prin care pot fi preparate mostre de grafit de calitate excelentă, standardizate. Nesiguranța de 3-5% a vârstei determinate nu a constituit chiar o surpriză pentru specialiști, căci acceleratoarele de particule existente atunci (și utilizate la început pentru datările ^{14}C) nu au fost proiectate ca spectrometre de masă de precizie. Instalațiile deosebit de sensibile, corespunzătoare exigențelor datării radiocarbon, au început să fie amenajate în 1981 (inclusiv la Toronto), și rezultatele primelor experiențe, efectuate cu aceste sisteme, s-au dovedit a fi de zece ori mai bune în comparație cu cele anterioare. Se apreciază, pe baza testelor, că proporția ^{14}C / ^{12}C din mostre poate fi stabilită cu o nesiguranță de numai 0,2%.

Limita vârstei determinabile este condiționată de factorii deja amintiți. Această limită, în etapa inițială a metodei numărării atomilor se situa (ca și în cazul aplicării procedeului tradițional) în jur de 50-60.000 de ani. Întrucât, cu noua metodă, detectarea ^{14}C poate fi considerată virtual sigură, vârsta determinabilă este limitată, în principal, doar de prezența unor materiale străine mostrei, acumulate pe locul descoperirii, în cursul depozitării sau chiar în laborator (din sursa de ioni, de pildă). Dacă se reușește înlăturarea acestei piedici prin selectarea, pretratarea și prepararea cu grijă a mostrelor, precum și prin realizarea unor instalații speciale, devin databile și descoperirile mai vechi de 60.000 de ani. Oricum, prin noua metodă, un vast domeniu temporal cuprins între 30.000 și 60.000 BP a devenit mult mai accesibil cercetării arheologice.

2.4. *Fracţionarea izotopului*

Cunoaşterea conţinutului ^{14}C original al materialelor care urmează a fi datate este o condiţie indispensabilă a determinărilor cronologice radiocarbon fiabile. (În cazul unor mostre provenind din organisme vii, aceasta înseamnă stabilirea sau evaluarea cât mai precisă a concentraţiei ^{14}C, în momentul instalării morţii). Deşi, în mod convenţional, cu ocazia determinării datelor radiocarbon "directe", concentraţia ^{14}C a atmosferei este considerată constantă, conţinutul de carbon-14 al celorlalte componente ale rezervorului dinamic poate fi diferită de aceasta. Această deviere dă naştere în datare unei vârste aparente, mai mult sau mai puţin diferită de vârsta "reală", ceea ce, cunoscând mărimea devierii, trebuie corectată. (Am menţionat deja că scăderea sau creşterea conţinutului de ^{14}C determină o deviere de ± 83 de ani în vârsta calculată). Este, deci, important să fim în măsură de a raporta materialul mostrei la unul din rezervoarele de schimb de carbon, respectiv, biosfera asociată (vezi fig.6).

Una din cauzele acestei devieri este fracţionarea izotopului, ce are loc în natură, dar care se poate produce şi în condiţii de laborator, de exemplu în cursul pretratării şi arderii mostrei. Fracţionarea izotopului poate fi studiată prin măsurători directe şi, astfel, există modalitatea corectării erorii de datare, izvorâtă din ea. Această corecţie a devenit obligatorie în determinarea cronologiei radiocarbon convenţională a mostrelor.

Caracteristicile chimice ale izotopilor aceloraşi elemente nu sunt, în general, diferite. Ceea ce îi distinge, este numărul neutronilor lor şi, în consecinţă, masa lor atomică, ce poate juca

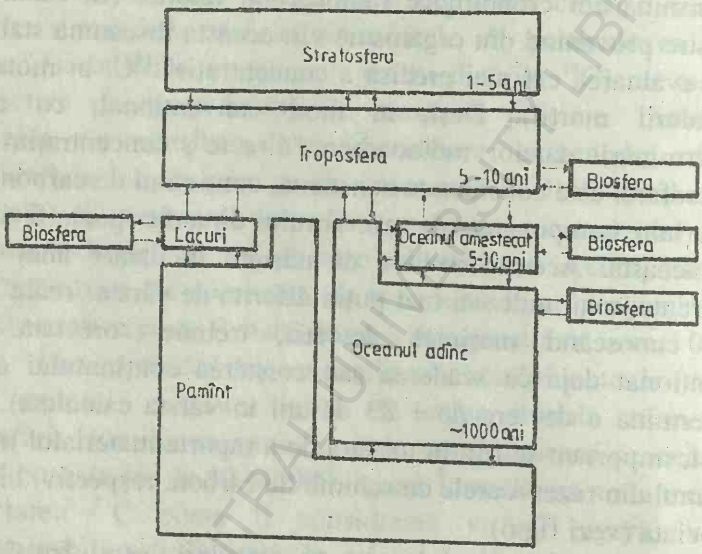


Fig.6. Principalele rezervoare în sistemul de schimb natural al carbonului. Timpul de staționare aproximativ al dioxidului de carbon în diferite rezervoare este indicat în ani. (După H. Tauber, 1983).

BIBLIOTECA CENTRALĂ UNIVERSITARĂ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

deja un anumit rol cu ocazia schimbului de izotopi, petrecut cu ocazia proceselor chimice. Atunci când, de pildă, atomii de carbon trec dintr-un compartiment în altul al rezervorului dinamic, asimilarea izotopilor cu masă diferită arre loc în mod selectiv. Ca urmare a acestui fapt, se poate produce, o împuţinare sau îmbogăţire în comparaţie cu ^{12}C şi ^{13}C. Valoarea finală a proporţiei dintre izotopi depinde, astfel, pe de o parte de sursă, iar pe de altă parte de "staţiile" schimbului de izotopi; în cazul organismelor vii trebuie să se aibă în vedere, deci, printre altele, şi locul ocupat de aceste organisme în lanţul alimentar.

2.4.1. *Fracţionarea izotopului şi fotosinteza.* În cursul fotosintezei, în procesul asimilării dioxidului de carbon atmosferic, plantele avantajează izotopii mai uşori, astfel că legarea $^{14}CO_2$ are loc mai anevoios decât asimilarea $^{13}CO_2$ sau $^{12}CO_2$. Din această cauză, se produce o scădere a conţinutului de ^{13}C şi, cu atât mai mult, a celui de ^{14}C, faţă de conţinutul în izotopul ^{12}C. Măsura acestei scăderi este diferită în funcţie de speciile de plante. (Mai mult, pot exista deosebiri şi în cadrul aceleiaşi specii, şi chiar şi în cadrul aceluiaşi individ. Cu ocazia unor măsurători efectuate pe inelele de creştere ale aceluiaşi copac, cercetători olandezi au observat diferenţe de până la 4 ‰ în raportul $^{12}C / ^{13}C$).

Odată cu începutul anilor '70 a devenit evident că măsura fracţionării izotopului este determinată de tipul de fotosinteză a plantei (cf. fig.7). Asimilarea carbonului în plante este rezultatul unui lanţ de reacţii complex, în cursul căruia are loc reducerea dioxidului de carbon atmosferic şi integrarea moleculei de carbon într-o combinaţie organică. Fotosinteza majorităţii

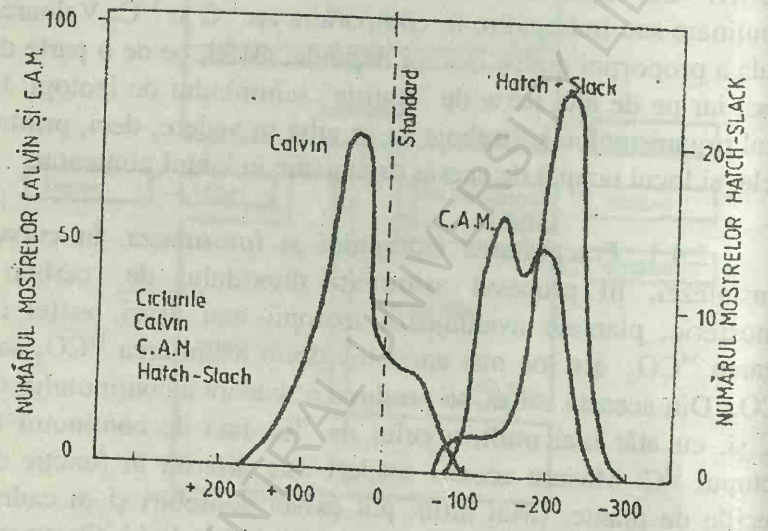


Fig.7. Deviația între vârsta aparentă și vârsta reală ^{14}C ale diferitelor plante în funcție de ciclul lor de fotosinteză. (După J. Evin, 1983).

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

plantelor se desfășoară conform așa-zisului ciclu Calvin (sau Calvin-Benson), în cazul căruia legarea dioxidului de carbon începe prin acidul fosfogliceric, conținând trei atomi de carbon. (Procesul a fost elucidat în 1948 de savantul american Melvin Calvin, care, pentru cercetările sale, a obținut, în anul 1961, premiul Nobel pentru chimie). La aceste plante, numite și de tip C_3, ce cresc, mai ales, în regiunile cu climă temperată (grâul, orezul, sfecla de zahăr, păstăioasele), măsura fracționării izotopului este 3-4%, deci conținutul lor în ^{14}C este cu 3-4% mai scăzut în comparație cu concentrația ^{14}C a atmosferei, ceea ce dă naștere la o diferență de vârstă aparentă în medie de 240-320 ani.

În cazul așa numitului ciclu Hatch-Slack (după numele a doi cercetători australieni), combinația inițială a procesului de fotosinteză o constituie acizi organici conținând patru atomi de carbon (acid oxalacetic, acid malic). La aceste plante, numite și de tip C_4, asimilarea este mult mai eficientă și măsura fracționării izotopului, respectiv a scăderii conținutului de ^{14}C față de concentrația de ^{14}C a atmosferei este de numai aproximativ 1%. În rândul acestor plante, în cea mai mare parte tropicale, subtropicale și de deșert, cele mai importante sunt anumite erbacee, iar dintre plantele cultivate meiul, porumbul și trestia de zahăr.

Pentru o a treia grupă de plante este carasteristic așa numitul ciclu de fotosinteză C.A.M. (C.A.M. = *Crassulacean acid metabolism,* metabolismul acidic al familiei *Crassulaceae*). Aceste plante, în marea lor majoritate trăind în zone de deșert, din punctul de vedere al fracționării izotopului au un comportament intermediar.

Acele animale care consumă plantele amintite, conform sursei lor de hrană (şi de ^{14}C, în acelaşi timp), vor avea şi ele un conţinut mai scăzut de carbon-14, în comparaţie cu concentraţia de radiocarbon a atmosferei. Această scădere este însă diminuată de faptul că - în sens invers - fenomenul fracţionării izotopului are loc şi în oase: s-a constatat că în colagenul oaselor se petrece o îmbogăţire cu cca 1% în conţinutul de ^{14}C. Datorită acestui fenomen, vârsta radiocarbon aparentă a oaselor va fi, în medie, cu aproximativ 80 de ani mai recentă în comparaţie cu materia vegetală cu care s-a hrănit animalul (sau omul) respectiv. Acest fenomen este foarte clar ilustrat de măsurătorile efectuate pe mostre, de origine vegetală şi animală, prelevate de la aceleaşi locuri de descoperire. Conform datelor cuprinse în tabelul de mai jos (citate după R. Longin, respectiv, J.Evin), pe mostrele de os au fost măsurate, de pildă, aproape totdeauna, vârste radiocarbon mai recente în comparaţie cu eşantioanele de carbon, descoperite împreună cu ele. (Firește, datările citate nu sunt corectate pentru fracţionarea izotopului).

Locul de descoperire	Colagen de os	Cărbune de lemn
La Couronne Martigues	3970 ± 130 BP	4060 ± 220 BP
Montclus, stratul 4	6140 ± 140	6300 ± 140
Montclus, stratul 21	7780 ± 250	7890 ± 170
Montclus, stratul 22	7750 ± 340	7770 ± 410
St. Remeze 378	11500 ± 380	11750 ± 300
Les 2 Avens	12350 ± 200	12320 ± 600
Solutré 9b, 8b	17150 ± 30	16740 ± 300

Locul de descoperire	Colagen de os	Cărbune de lemn
St. Martin sous Montaigu	22900 ± 600	24150 ± 550

Fracţionarea izotopului are loc şi în cursul trecerii atomilor de carbon din atmosferă în apa oceanelor. Drept urmare a acestei interacţiuni de schimb, în conţinutul de ^{14}C al carbonaţilor dizolvaţi în apa oceanelor - şi prezenţi în scoici, precum şi în alte depuneri cu conţinut de carbon - se produce o îmbogăţire de cca 1,5 % în comparaţie cu dioxidul de carbon atmosferic. După cum am menţionat deja, ca urmare a fracţionării izotopului, la plantele care asimilează conform ciclului Calvin, se produce o scădere de 3-4 % a concentraţiei de radiocarbon. Din această cauză, în comparaţie cu aceste plante, conţinutul carbon-14 al carbonaţilor de origine oceanică va fi cu cca 5 % mai ridicat, căruia îi corespunde o diferenţă aparentă de vârstă de peste 400 de ani.

Odată cu asimilarea, de către plantele acvatice, în cursul procesului de fotosinteză, a carbonaţilor dizolvaţi în apa oceanelor, deja îmbogăţiţi în ^{14}C, are loc din nou fracţionarea izotopului, în urma căreia se produce o diminuare în izotopii de carbon cu masa mai mare. Măsura acesteia, în cazul carbonului-14, este de 2-4 %. Această diminuare - doar cu mici modificări, după cât se pare - se produce şi în organismul animalelor marine, consumatoare de plante acvatice şi, până la urmă, în organismul tuturor fiinţelor, ce se alimentează cu hrană de origine marină. Conţinutul de carbon-14 astfel format al

plantelor şi animalelor marine va deveni asemanător cu concentraţia ^{14}C a plantelor terestre, urmând ciclul Hatch-Slack şi cu cea a animalelor care se hrănesc cu aceste plante.

2.4.2. *Fracţionarea izotopului şi efectul rezervorului dinamic.* Datarea radiocarbon a substanţelor de origine marină este îngreunată de faptul că formarea conţinutului lor de ^{14}C este influenţată nu numai de fracţionarea izotopului ci şi de aşa numitul "efect al rezervorului dinamic", ce apare în apa oceanelor. Acesta este cauzat de schimbul limitat de izotopi de carbon între atmosferă, suprafaţa şi adâncul oceanelor, precum şi de efectul apei ce pătrunde dinspre profunzimea spre suprafaţa oceanelor. E drept că ritmul formării carbonului-14 este ceva mai rapid în apropierea polilor decât de-a lungul ecuatorului, dar dioxidul de carbon se amestecă într-un timp relativ scurt în atmosferă şi, din această cauză, nu se observă o deviere considerabilă în ceea ce priveşte concentraţia ^{14}C a atmosferei la diferitele latitudini geografice. (Putem menţiona, totuşi, că - potrivit rezultatelor unor măsurători, efectuate în 1977 -, conţinutul de carbon-14 al atmosferei emisferei sudice este cu cca 0,5 % mai scăzut faţă de cel al emisferei nordice, de unde rezultă o diferenţă de vârstă aparentă de aproximativ 40 de ani. Acest fenomen poate fi explicat prin sistemul de curenţi atmosferici diferit al celor două emisfere, precum şi prin faptul că la sud de ecuator apa oceanelor acoperă o suprafaţă mai întinsă cu cca 40 %). Dimpotrivă, amestecul în oceane este mult mai lent şi, astfel, se poate observa o diferenţă semnificativă între concentraţia ^{14}C a atmosferei şi a apei marine. Timpul de persistenţă a atomilor de carbon în atmosferă şi în oceanul de

suprafaţă (cu alte cuvinte în stratul de apă superior, amestecat, gros de cca 100 m) este de numai 5-10 ani (după alte date: câteva decenii), în "rezervorul" din oceanul adânc fiind, însă, de ordinul miilor de ani. O perioadă atât de îndelungată este suficientă ca (în timp ce concentraţia ^{13}C rămâne neschimbată) conţinutul ^{14}C să se diminueze considerabil, datorită dezintegrării radioactive. Din această cauză, carbonul originar din dioxidul de carbon atmosferic, prezent în apa oceanelor sub formă de carbonaţi dizolvaţi, are o vârstă aparentă în comparaţie cu dioxidul de carbon al atmosferei. Radioactivitatea oceanului adânc este inferioară în comparaţie cu cea a oceanului de suprafaţă şi, din această cauză, vârsta aparentă cauzată de efectul rezervorului dinamic se micşorează de la fundul mărilor spre suprafaţa apei. În realitate, nu totdeauna se manifestă acest model simplificat; uneori au loc, de pildă, erupţii din oceanul adânc, masa de apă putând fi amestecată şi de diferiţi curenţi marini. Este, deci, evident, că vârsta aparentă rezultată poate să fie deosebită în diferitele regiuni oceanice. Valorile tipice sunt evaluate la cca 1000 de ani în cazul oceanului adânc (dar: pe mostre de apă provenind de pe fundul Oceanului Pacific au fost masurate şi vârste de 2000 de ani), iar în cazul apei amestecate a oceanului de suprafaţă, conţinând atât carbon "recent", atmosferic, cât şi carbon "vechi", provenind din adâncul oceanelor, la cca 400) de ani. Acele plante şi animale care îşi procură carbonul - direct sau prin lanţul alimentar - dintr-o asemenea apă cu vârstă aparentă, sunt expuse şi ele la consecinţele efectului de rezervor, ca şi sedimentele şi depunerile cu conţinut de carbon.

În conținutul de carbon-14 al carbonaților oceanici se produce, deci, pe de o parte, o îmbogățire din cauza fracționării izotopului, iar pe de altă parte, o diminuare din cauza efectului de rezervor, ceea ce face ca mostra să devină mai recentă, respectiv, mai veche, în comparație cu vârsta radiocarbon "reală". Cele două efecte, acționând în sens contrar, pot să se neutralizeze, cel puțin parțial. (După cum am menționat deja, din cauza fracționării izotopului, vârsta ^{14}C a carbonaților oceanici va deveni cu cca 400 de ani mai recentă decât cea a plantelor de tip C_3. Această diferență de vârstă este însă neutralizată de vârsta aparentă tot de cca 400 de ani a apei oceanului de suprafață. În felul acesta, vârsta radiocarbon măsurată a plantelor amintite și cea a scoicilor marine, de pildă, va deveni aceeași - sau, cel puțin, ar trebui să fie aceeași - dacă ele au fost contemporane și în realitate).

Pentru datarea ^{14}C corectă a substanțelor de origine marină trebuie să fie luate în considerație, deci, atât influența fracționării izotopului, cât și consecințele efectului de rezervor. Principiul este acela că din vârsta ^{14}C măsurată, corectată din cauza erorii de datare rezultată în urma fracționării izotopului, trebuie scăzută vârsta aparentă ivită din cauza efectului de rezervor; diferența corespunde vârstei radiocarbon convențională a mostrei.

2.4.3. *Măsura și măsurarea fracționării izotopului.* Modificarea conținutului de ^{14}C din cauza fracționării izotopului poate fi stabilită datorită faptului că - în conformitate cu legile termodinamicii - diminuarea sau îmbogățitea în carbon-14 este dublă față de măsura devierii ce se instalează în conținutul de

^{13}C. Conținutul de izotopi stabili ^{13}C și ^{12}C al mostrei este măsurat prin investigații cu spectometrul de masă și - în sensul celor menționate mai sus - pe această bază se stabilește raportul izotopic ^{14}C / ^{13}C. Întrucât analiza compoziției izotopice stabile este mult mai precisă (±1‰) decât determinarea curentă a radioactivității ^{14}C (ò3‰), nesiguranța măsurării fracționării izotopului nu mărește valoarea deviației standard a datelor radiocarbon.

Fracționarea izotopului, ce are loc în diferite substanțe, este exprimată ca deviația pro mie a raportului ^{13}C / ^{12}C din mostrele, ce urmează a fi datate, față de un raport izotopic standard ^{13}C / ^{12}C. Semnul folosit pentru această deviație este $\delta\ ^{13}C$. Dacă $\delta\ ^{13}C = 1$ ‰, devierea în raportul ^{14}C / ^{12}C a fost de două ori mai mare ($\delta\ ^{14}C = 2$ ‰), ceea ce face necesară în datarea radiocarbon o corecție de 16 ani.

Standardul admis internațional este un carbonat marin fosil, așa numitul Pee-Dee-Belemnit, prescurtat: PDB. (Belemnitul este rămășița fosilizată a unei moluște cephalopode dibranchiate care a trăit în era mezozoică a istoriei Terrei. Fosilia a fost colectată din formațiunea calcaroasă Pee Dee, aflată în Carolina de Sud, în apropierea litoralului atlantic al Statelor Unite). Fracționarea izotopului este considerată, în acest caz, egală cu zero, și valorile $\delta\ ^{13}C$ ale diferitelor substanțe cu conținut de carbon din natură se exprimă prin raportarea la acest standard (vezi fig.8).

Potrivit datelor lui Ingrid V. Olsson, valorile $\delta\ ^{13}C$ ale celor mai multe substanțe ce pot fi datate prin metoda radiocarbon se plasează în interiorul unui domeniu de 35 ‰. Raportat la conținutul de ^{14}C, acesta înseamnă o deviație

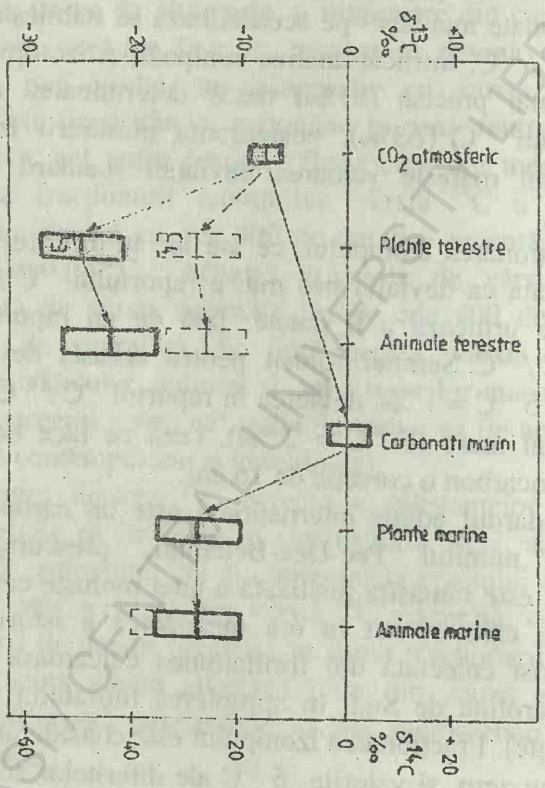


Fig.8. Fracționarea izotopilor de carbon în natură, în deviații pro mie. (După H. Tauber, 1983).

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

maximă de 70 ‰ de la standardul PDB, ceea ce dă naştere în vârsta calculată la o deviaţie de până la 600 de ani, deviaţie ce trebuie corectată.

În ceea ce priveşte măsura fracţionării izotopului, care se produce în diferitele substanţe cu conţinut de carbon, datele citate în literatură sunt, uneori, mai mult sau mai puţin diferite. Acest lucru nu trebuie să ne surprindă dacă avem în vedere faptul că pentru orice substanţă este caracteristică câte un domeniu de valori şi nu o valoare fixă (vezi figurile 8-9) şi că deviaţiile, după cum s-a menţionat deja, pot prezenta anumite diferenţe chiar în cadrul aceleiaşi specii sau în cazul aceluiaşi individ. Conform datelor (sintetizate în fig.8) ale lui Henrik Taubner, de la laboratorul de radiocarbon al Muzeului Naţional de la Copenhaga, valoarea tipică d ^{13}C a dioxidului de carbon atmosferic se situează între -7 şi -8 ‰. La plantele terestre, care primesc carbonul lor direct din atmosferă, fracţionarea izotopului are ca urmare o scădere a conţinutului de izotopi de carbon mai grei: valorile d ^{13}C ale plantelor de tip C_3 vor fi între -22 şi -30 ‰, ale celor de tip C_4 între -10 şi -18 ‰, iar pentru animalele care se hrănesc cu aceste plante (datorită îmbogăţirii reduse petrecută în oase) sunt caracteristice valori ceva mai mari. În carbonatul oceanelor, faţă de dioxidul de carbon atmosferic, se produce o îmbogăţire a conţinutului de ^{13}C şi ^{14}C: valoarea d ^{13}C este în jur de 0‰ (reamintim că standardul PDB este un carbonat marin). La plantele acvatice, care îşi procură carbonul din carbonaţii marini, în cursul fotosintezei se produce, din nou, o diminuare: valorile lor d ^{13}C vor fi între -10 şi -22 ‰, ceea ce, cu anumite modificări posibile, se observă şi la animalele marine. (Pentru comparaţie şi recapitulare menţionăm

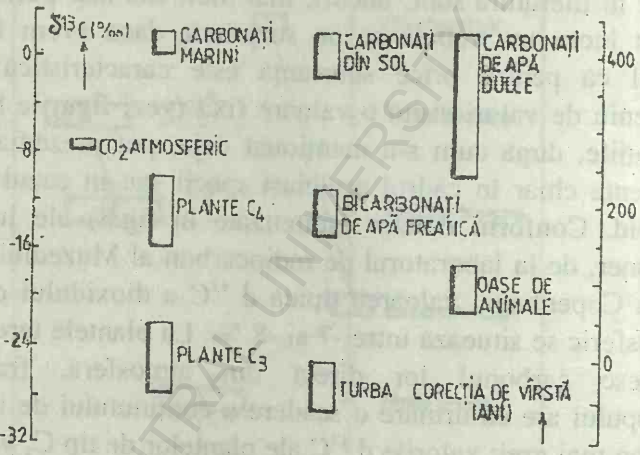


Fig.9. Domenii ale valorilor d ^{13}C (în ‰, vezi scala din stânga) caracteristice pentru diferite substanțe cu conținut de carbon. Corecția de vârstă corespunzătoare (în ani), necesară, este indicată pe scala din dreapta. (După W.G. Mook și H.J. Streurman, 1983).

că, după datele citate de Werner Rauert, valoarea $\delta\ ^{13}C$ este în jur de -7 ‰ în cazul atmosferei, -27 ‰ la plantele C_3 și -13 ‰ la plantele C_4).

2.4.4. *Corecția necesară datorită fracționării izotopului.* Cu toate că fenomenul fracționării izotopului este cunoscut încă de la începutul anilor 1950, corecția necesară, corespunzătoare, a început să fie aplicată relativ târziu pe scară mai largă, ceea ce a cauzat o anumită confuzie în datarea radiocarbon. Deoarece ca etalon de radioactivitate a început să fie folosit lemnul (și întrucât cea mai mare parte a mostrelor folosite pentru datarea radiocarbon o constituie lemnul și cărbunele de lemn), specialiștii au convenit ca măsura medie a fracționării izotopului ce are loc în lemnul "normal" ($\delta\ ^{13}C$ = -25 ‰ PDB) să fie folosită ca măsura de bază ("standard de lemn") la care se raportează valorile $\delta\ ^{13}C$ ale mostrelor ce urmează a fi datate, și pe baza căreia se corectează deviația de vârstă cauzată de fracționarea izotopului (cf. fig.10). Acele mostre, de pildă, care conțin cu 1 ‰ mai mult ^{13}C ($\delta\ ^{13}C$ = -24 ‰) decât valoarea standard (($\delta\ ^{13}C$ = -25 ‰), au avut conținutul inițial de ^{14}C cu 2‰ mai mare. Din această cauză, vârsta lor radiocarbon măsurată va fi cu 16 ani mai recentă față de vârsta lor ^{14}C reală, și această vârstă aparentă trebuie corectată. Deoarece marea majoritate a mostrelor provine din rămășițele unor plante ce urmează ciclul Calvin și din oasele animalelor care au consumat aceste plante, valorile lor $\delta\ ^{13}C$ diferă doar în mică măsură de standardul de -25 ‰ și, în felul acesta, și corecția de vârstă necesară din cauza fracționării izotopului este redusă: în cazul lemnului și al cărbunelui de lemn, în general, mai puțin de 50 de

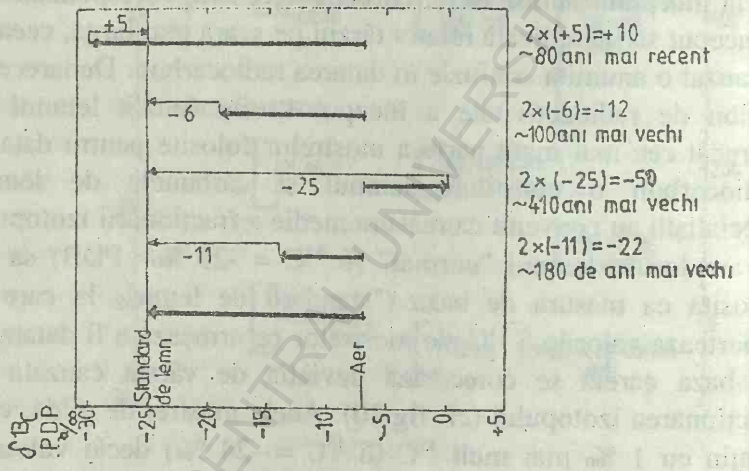


Fig.10. Exemple pentru "normalizarea" d ^{13}C la -25 ‰ PDB (standard de lemn) și corecțiile corespunzătoare de ^{14}C și de vârstă radiocarbon. (După Ingrid V. Olsson, 1983).

IOU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

ani, iar la oase în jur de 100 de ani. La alte substanţe (plantele de tip C_4 şi animalele care le consumă, carbonaţii, plantele şi animalele marine) corecţia necesară din cauza fracţionării izotopului este mult mai mare: vârsta radiocarbon măsurată a boabelor de porumb trebuie "ridicată" cu cca 240 de ani, cea a scoicilor marine cu aproximativ 400 de ani. (Corelaţia dintre măsura fracţionării izotopului şi corecţia corespunzătoare a vârstei radiocarbon este ilustrată prin fig. 8, 9 şi 10).

Corecţia pentru fracţionarea izotopului a vârstei radiocarbon măsurate a substanţelor de origine oceanică este îngreunată de vârsta ^{14}C aparentă a apei marine. După cum am arătat deja, în conţinutul ^{14}C al carbonaţilor oceanului de suprafaţă se produce, datorită fracţionării izotopului, o îmbogăţire de 50 ‰ faţă de conţinutul ^{14}C mediu al plantelor terestre de tip C_3. (Acest lucru rezultă din valorile lor $\delta\ ^{13}C$ de O, respectiv de -25 ‰). Totodată, în conţinutul ^{14}C al oceanului de suprafaţă are loc o diminuare, datorită amestecului cu apa oceanului adânc, având o radioactivitate mai scăzută. Măsura acestei diminuări este deosebită în diferitele regiuni oceanice. Este interesant, totuşi, că în apele de suprafaţă relativ stabile ale întinderilor nordice ale Oceanului Atlantic şi ale mărilor sale colaterale (cu excepţia părţilor celor mai septentrionale: regiunea Thula, litoralul estic al Groenlandei, zona insulelor Spitzbergen) măsura diminuării este aproape 50 ‰. În urma acestei coincidenţe - cel puţin în acest spaţiu oceanic - cele două efecte, practic, se neutralizează. Din cauza acestei compensări, unele laboratoare au considerat ca neglijabilă corecţia vârstei radiocarbon a mostrelor de origine oceanică, corecţie care s-ar fi impus din cauza fracţionării izotopului şi a efectului de rezervor.

Colaboratorii multor laboratoare au dezaprobat însă un asemenea punct de vedere. Ingrid V. Olsson a remarcat, de pildă, că în practica laboratorului de la Upssala (Suedia) cele două corecții au fost de la bun început deosebite și cele două fenomene au fost documentate separat. În felul acesta devine posibilă rectificarea - îmbunătățirea ulterioară a datărilor (atunci când vom dispune de cunoștințe mai bogate despre cauzele și măsura vârstei aparente a mostrelor), iar pe de altă parte, cei care utilizează datările radiocarbon vor putea verifica oricând felul în care au fost efectuate determinările cronologice (înlăturând confuziile cauzate de corecțiile duble ori omise).

Nu există încă un adevărat consens între laboratoarele radiocarbon cu privire la corecția vârstei ^{14}C măsurată a substanțelor de origine oceanică. Dacă (având în vedere egalarea efectului de rezervor și a influenței fracționării izotopului) conținutul ^{14}C măsurat al mostrelor marine este corectat în funcție de devierea față de valoarea fracționării medii a izotopului observată în apele oceanului de suprafață ($\delta\ ^{13}C = 0$ ‰ PDB), iar conținutul ^{14}C măsurat al substanțelor terestre în funcție de fracționarea medie a izotopului la plantele de tip C_3 ($\delta\ ^{13}C = -25$ ‰ PDB), datarea radiocarbon al substanțelor contemporane, de origine pur marină sau pur terestră, va fi identică sau aproape identică. După cum subliniază însă Taubner, acest principiu nu poate fi aplicat decât pentru regiunea oceanică stabilă, situată la nord de latitudinea 40.

Pare a fi mai indicat procedeul, conform căruia conținutul ^{14}C al tuturor mostrelor - indiferent că sunt de origine terestră sau marină - este corectat în funcție de măsura devierii acestora de valoarea medie a fracționării izotopului plantelor

terestre ($\delta\ ^{13}C$ = -25 ‰). Dacă datarea va fi astfel efectuată, mostrele de origine pur marină vor avea o vârstă aparentă (ceea ce trebuie adăugată la vârsta radiocarbon reală), corespunzătoare diminuării în conținutul de ^{14}C al oceanului de suprafață, din cauza efectului de rezervor. În regiunea nordică, stabilă, a Oceanului Atlantic, ca și în mările colaterale, aceasta este echivalentă cu o diferență de vârstă de aproape 400 de ani, diferență ce este și mai mare în cazul mostrelor provenite din regiunile oceanice mai puțin stabile. Prin urmare, dacă datarea este efectuată în acest fel, vârsta radiocarbon măsurată a mostrelor de origine oceanică va fi cu cel puțin 400 de ani mai timpurie în comparație cu substanțele de origine terestră contemporane, și această vârstă aparentă trebuie scăzută din vârsta ^{14}C măsurată. Este, deci, firească recomandarea pentru arheologii care utilizează datările ^{14}C ale unor substanțe de origine marină să colaboreze cu laboratoarele de radiocarbon ce analizează mostrele, și să aibă în vedere, după ce principii au fost efectuate determinările cronologice.

Dificultăți similare se ivesc în datarea ^{14}C a rămășițelor acelor oameni, care s-au hrănit cu alimente de origine oceanică, sau de origine mixtă, marină și terestră. Dacă - conform procedeului obișnuit - conținutul ^{14}C al mostrelor este corectat în funcție de măsura deviației lor de fracționarea izotopică medie a plantelor terestre de tip C_3 ($\delta\ ^{13}C$ = -25 ‰ PDB), și dacă în alimentație au avut un anumit rol și substanțe de origine marină, în datarea radiocarbon a rămășițelor omenești se ivește o vârstă aparentă. În cazul în care hrana a fost în proporție de 100% de origine oceanică (ceea ce este puțin probabil), vârsta aparentă iscată va fi identică cu cea a altor substanțe de origine marină, a

căror vârstă ^{14}C a fost calculată în același mod, deci cca 400 de ani în regiunile stabile nord-atlantice, și ceva mai mult în zonele oceanice mai puțin stabile. În cazul asimilării în mai mică măsură a hranei de origine marină și vârsta aparentă scade proporțional. Mărimea vârstei aparente trebuie evaluată aparte în fiecare caz, pe baza valorilor $\delta\ ^{13}C$, dar ea nu poate fi stabilită cu exactitate. În orice caz, dacă există motive pentru a aprecia că în alimentația unui grup uman de odinioară hrana de origine marină a jucat un rol important, la datarea radiocarbon a rămășițelor omenești, pe lângă eroarea de datare a substanțelor terestre obișnuite, trebuie luată în considerație și o eroare adițională care numai arareori este mai mică de 100 de ani.

Dacă au fost consumate atât alimente de origine marină cât și plante terestre de tip C_4 - ca în zona de litoral a Mării Mediteraneene, de pildă -, pe baza valorilor $\delta\ ^{13}C$ măsurate este dificil să se deducă proporția alimentelor de origine marină, respectiv terestră, consumate. Din cauza incertitudinii corecției necesare, și datările ^{14}C ale unor asemenea rămășițe umane vor fi nesigure. Nu poate fi neglijat nici faptul că atât hrana de origine marină, cât și plantele de tip C_4 au putut avea un anumit rol în nutriția animalelor terestre, influențând, și în felul acesta, compoziția izotopică a organismului uman.

Față de valorile medii ale plantelor terestre de tip C_3, plantele de tip C_4, ca și organismul animalelor care le consumă, se îmbogățesc atât în ^{13}C cât și în ^{14}C. Conținutul de carbon-13 și de carbon-14 al organismului oamenilor, care se hrănesc cu asemenea alimente, va crește, de asemenea, în mod corespunzător. Din această cauză (dacă, din considerente geografice, hrana de origine marină poate fi exclusă, și dacă nu

este aplicată corecţia pentru fracţionarea izotopului) se obţin date radiocarbon mai recente decât cele reale. În cazul în care plantele şi animalele amintite au constituit hrana în proporţie de 100%, diferenţa de vârstă poate să atingă şi 200 de ani; dacă proporţia alimentelor de acest fel a fost mai mică, şi "întinerirea" mostrelor va fi proporţional mai redusă. Pe baza valorilor $\delta\ ^{13}C$ vârsta radiocarbon măsurată poate fi corectată, deci, efectuând corecţia necesară pentru fracţionarea izotopului, în cazul mostrelor de aceeaşi vârstă reală, nu apare nici o eroare de datare adiţională faţă de datarea rămăşiţelor plantelor de tip C_3 şi a acelor fiinţe care le-au consumat. Acesta se datorează faptului că atât plantele de tip C_3 cât şi cele de tip C_4 sunt substanţe biosferice care sunt în corelaţie cu un singur "rezervor de carbon" bine amestecat: troposfera - stratul inferior al atmosferei.

Este, deci, evident, că stabilirea vârstei radiocarbon reale este condiţionată de posibilitatea raportării substanţei mostrei ce urmează a fi datată la unul din "rezervoarele de carbon" (atmosferă, oceanul de suprafaţă, oceanul adânc, lacuri), respectiv la componentele biosferei, legate de acestea. În strânsă legătură cu cele de mai sus, precizia datării radiocarbon a rămăşiţelor umane depinde în mare măsură de cunoştinţele noastre cu privire la obiceiurile alimentare ale înaintaşilor noştri, la rolul hranei de origine terestră şi marină în nutriţie. Şi invers: din vârsta radiocarbon măsurată, şi, mai ales, din valorile $\delta\ ^{13}C$, pot fi obţinute informaţii interesante şi cu privire la obiceiurile alimentare ale reprezentanţilor de odinioară ai speciei noastre. Investigaţiile de acest fel constituie astăzi o ramură specială a cercetărilor din domeniul metodei radiocarbon.

2.5. *Rolul mostrelor în datare*

Experienţa de mai multe decenii, acumulată în cursul aplicării metodei radiocarbon, demonstrează că multe rezultate eronate, multe concluzii greşite se datorează faptului că nu a fost îndeajuns luată în consideraţie valoarea reală pentru determinări cronologice a diferitelor materiale folosite în datarea ^{14}C. Este evident că marea precizie, la care s-a ajuns în zilele noastre în domeniul tehnicii de măsurare nu prezintă nici nu avantaj din punctul de vedere al aplicării practice a metodei radiocarbon, dacă nu este cunoscut în suficientă măsură materialul însuşi care urmează a fi datat sau dacă acesta nu este tratat corespunzător în laborator, înainte de măsurarea conţinutului de ^{14}C. În cele ce urmează dorim să revenim ceva mai pe larg asupra acestei probleme, atinsă doar pe scurt în capitolul 2.1. Ne vom referi mai ales la materialele terestre, ce au o importanţă covârşitoare în datarea ^{14}C; problemele speciale ale determinării cronologice a mostrelor de origine oceanică au fost deja prezentate pe scurt în capitolul anterior.

După cum constată J. Evin, unul dintre cei mai buni experţi ai problemelor ce ne preocupă aici, investigarea critică a materialelor ce urmează a fi datate în scopuri arheologice prezintă trei aspecte inseparabile, care ar putea fi sintetizate în următoarele întrebări: 1. se cunoaşte oare conţinutul de carbon original al mostrei; 2. înainte de măsurarea radioactivităţii s-a reuşit oare îndepărtarea completă a carbonului secundar, mai vechi sau mai recent decât conţinutul de carbon original al mostrei; şi 3. în ce măsură este sigur că mostra aleasă reprezintă

fidel fenomenul arheologic care urmează a fi datat? În funcție de tipul mostrelor și răspunsurile ce pot fi date la aceste întrebări sunt diferite, iar din punctul de vedere al datării, materialele ar trebui considerate ca fiind de încredere numai dacă răspunsul la toate cele trei întrebările ar fi afirmativ. Să examinăm mai întâi una câte una aceste trei probleme, fără a repeta aspectele conexe, discutate în alte capitole ale lucrării.

2.5.1. În ceea ce privește posibilitatea de a cunoaște *conținutul inițial de* ^{14}C al mostrelor, materialele ce urmează a fi datate pot fi clasificate în următoarele categorii.

2.5.1.1. Mostrele al căror conținut inițial de ^{14}C poate fi stabilit cu siguranță fac parte din acele materiale ce absorb carbonul direct din dioxidul de carbon atmosferic și al căror conținut de ^{14}C este, în felul acesta, aproximativ identic cu cel al atmosferei. Din această categorie fac parte, înainte de toate, materialele de origine biologică (lemnul, cărbunele, osul etc.), care, în general, nu pun nici o problemă teoretică, dacă acceptăm acel principiu al datării radiocarbon convenționale, potrivit căruia conținutul de carbon-14 al atmosferei poate fi socotit constant în timp și în spațiu. (Cu alte cuvinte, dacă facem abstracție de oscilațiile concentrației ^{14}C ale atmosferei, intervenite datorită unor cauze naturale sau antropice). În cazuri excepționale pot să se producă, totuși, anumite modificări locale în conținutul de ^{14}C al atmosferei, care pot influența datarea radiocarbon a unor situri arheologice. În acest sens trebuie să avem în vedere, înainte de toate, emanarea în atmosferă a unor cantități mari de dioxid de carbon, de origine vulcanică. Contează nu atât rolul însuși al erupțiilor vulcanice; este mult

mai însemnată influenţa dioxidului de carbon, conţinând carbon inactiv, emanat în atmosferă datorită izbucnirilor permanente de substanţe lichide sau gazoase. Potrivit datelor lui M. Bruns şi F. Saupé (citate de Evin), în vârsta radiocarbon a materialelor vegetale, prelevate din situri arheologice aflate la sute de metri distanţă de asemenea izbucniri, poate să apară o "îmbătrânire" de până la 1500 de ani. Având în vedere acest aspect special al metodei, ar merita, poate, să se verifice, în ce măsură datarea radiocarbon a siturilor aflate în apropierea unor bogate izvoare de apă minerală carbogazoasă şi/sau mofete (cum este, de pildă, aşezarea de tip Ariuşd de la Malnaş Băi, jud. Covasna, ca şi altele din aceeaşi zonă) poate fi influenţată de aceste emanaţii permanente de CO_2, ce nu mai conţine ^{14}C.

2.5.1.2. Dintre materialele, al căror conţinut iniţial de carbon-14 nu poate fi stabilit cu certitudine, trebuie menţionate, înainte de toate, carbonaţii. Formarea concreţiilor întâlnite în peşteri sau în straturile de sub cerul liber, ca şi a depunerilor calcaroase - originare din apa freatică -, ce acoperă diferite obiecte, este un proces complex, rezultat al numeroaselor reacţii chimice, factori geochimici ş.a. Din această cauză, compoziţia izotopică a acestor materiale este deosebit de variată şi, adesea, incalculabilă. Aceeaşi constatare este valabilă şi pentru cochiliile (valvele) de scoici şi melci, constituite, în principal, din carbonat de calciu. Datarea acestora este complicată şi de faptul că trebuie să avem în vedere înlocuirea continuă a $CaCo_3$ şi după formarea lor. În comparaţie cu determinările cronologice efectuate pe mostre de altă natură, provenite din aceleaşi complexe arheologice, datarea acestor materiale prezintă o

deviație accidentală, imprevizibilă, cuprinsă între 500 și 1500 de ani. De aceea, cu excepția tufului calcaros, se recomandă evitarea datării radiocarbon a acestor materiale. Este admisă, totuși, datarea, evident aproximativă, a straturilor de loess din vremea ultimei glaciațiuni (Würm), pe baza depunerilor calcaroase, prezente în ele.

2.5.1.3. În sfârșit, ne vom opri asupra acelor materiale, al căror conținut inițial de ^{14}C nu este cunoscută, încă, în suficientă măsură, dar care pot avea, în viitorul apropiat, un rol important în datarea complexelor arheologice. Ne gândim, înainte de toate, la ceramica (al cărei conținut de carbon este foarte redus), precum și la mortarul (a cărui compoziție de carbon poate fi deosebit de complexă).

Datarea ceramicii este experimentată încă din anii '60-'70, o primă recapitulare a rezultatelor se datorează lui S. de Atley (1980). Autorul a studiat două serii de mostre. Pe vasele provenind din Filipine și datând din intervalul 200-1800 d.H. au fost obținute, în urma măsurătorilor, datări între 3300 și 8000 BP, care sunt, fără îndoială, eronate. Pe vasele seriei provenind de pe teritoriul actual a Statelor Unite și datând din mileniul II d.H., au fost obținute datări uneori considerate precise, uneori prea timpurii ori prea târzii. Această varietate a rezultatelor este cauzată, cu siguranță, de varietatea compoziției carbonului prezent în ceramică. După opinia lui Atley, carbonul din ceramică are patru surse: substanța organică originală a lutului, materialul degresant amestecat în pastă, resturile de alimente absorbite în cursul utilizării și, în sfârșit, acizii humici, asimilați din sol. La acestea Evin mai adaugă și carbonul din fumul

produs cu ocazia arderii vasului, iar H.T.Waterbolk are în vedere, ca un al şaselea izvor posibil, şi substanţele organice, depuse odată cu granulele de lut. În stadiul actual al cercetărilor este încă dificil de determinat, în ce proporţie sunt prezente aceste substanţe organice, sau, cel puţin, care sunt preponderente, în aceea 1% de carbon, cât conţine, în general, ceramica veche. Din această cauză, după cum am menţionat deja, carbonul extras din ceramică nu poate fi datat cu siguranţă nici cu metoda numărării atomilor.

Mortarul este rezultatul transformării varului ars (nestins = oxid de calciu, CaO) în carbonat de calciu ($CaCO_3$) sub impactul dioxidului de carbon atmosferic. Mortarul conţine, deci, o mare cantitate de carbon, teoretic, în întregime, de origine atmosferică. Şi, deoarece formarea sa este legată direct de lucrările de construcţie, mortarul ar fi deosebit de convenabil pentru datarea unor monumente de arhitectură antice şi medievale. Primele experienţe din acest domeniu, efectuate de G. Delibrias şi J. Labeyrie (1965), au fost foarte încurajatoare, dar şi datarea radiocarbon a mortarului prezintă anumite impedimente. Este posibil, de pildă, ca mortarul să conţină carbon vechi, ce poate proveni din însuşi varul (dacă calcarul - $CaCO_3$ - nu a fost bine calcinat), sau, ceea ce este mai frecvent, din aşa-zisul agregat, amestecat în mortar pe lângă var. Procedeele elaborate pentru determinarea vârstei ^{14}C a mortarului trebuie, deci, perfecţionate în continuare. Sunt deosebit de încurajatoare acele rezultate care au fost obţinute mai ales în SUA, în ceea ce priveşte metodele de separare a agregatului.

2.5.2. *Pretratarea mostrelor.* Cantitatea de carbon, existent în mostrele colectate din siturile arheologice, nu totdeauna este identică cu conţinutul lor original de carbon. Acesta putea să se distrugă parţial ori să i se adauge carbon secundar în cursul timpului scurs de la îngroparea mostrei. După opinia lui H.T.Waterbolk, practic, orice mostră este contaminată sau amestecată cu materiale mai vechi sau mai recente. Printr-o pretratare corespunzătoare, aceste substanţe pot fi mai mult sau mai puţin îndepărtate, cu condiţia ca ele să fie diferite din punct de vedere chimic de materialul mostrei care urmează să fie datat. Specialistul de la Groningen face distincţia între poluarea (contaminarea) propriu-zisă (infiltraţie de acizi humici, depunere de carbonaţi, înlocuire a carbonatului de calciu prin schimbul cu mediu etc.) şi amestecul cu materiale rămase din perioadele de locuire anterioare sau posterioare (datorită gangurilor rozătoarelor sau unor deranjamente stratigrafice neobservate). Multe mostre, chiar după îndepărtarea pământului lipit de ele, conţin radicule fine coborâte din solul fertil. Cea mai mare parte a acestora poate fi îndepărtată, sub microscop, cu penseta, ultimele rămăşiţe fiind eliminate prin oxidare. Substanţele poluante propriu-zise cele mai frecvente sunt acizii humici şi carbonaţii. În funcţie de şansa de a îndepărta materialele străine, mostrele pot fi grupate, după Evin, în felul următor:

2.5.2.1. Există materiale, a căror purificare, de obicei, nu poate fi perfectă. În prima perioadă a aplicării metodei radiocarbon, după procedeele de curăţire deja menţionate, mostrele au fost supuse unui tratament cu acid clorhidric în vederea îndepărtării carbonaţilor. Acest mod de pretratare a fost

considerat ca suficient în cazul mostrelor de lemn, cărbune de lemn şi de oase arse. Dar, după câţiva ani, s-a constatat că, în ciuda aplicării acestui procedeu, apar, destul de frecvent, rezultate vădit eronate. Acestea pot fi ilustrate prin determinările cronologice efectuate în laboratorul de la Lamont în 1955, privind cele patru straturi ale peşterii Grotte du Renne (Franţa), citate de Evin după A. Leroi-Gourhan. Datările au fost efectuate pe oase arse şi tabelul de mai jos (din care am omis numerele de laborator ale mostrelor) demonstrează convingător deviaţia vârstei radiocarbon de vârsta aşteptată în cazul în care se aplică doar procedeul simplu de pretratare, menţionat mai sus.

Strat	Cultură	Vârsta BP	Vârsta reală aproximativă
V	Perigordian târziu	11400 ± 250	25000 ani
XII	Aurignacian	10900 ± 250	32000 ani
XX	Perigordian timpuriu	15700 ± 400	34000 ani
XX	Perigordian timpuriu	15350 ± 400	34000 ani

Deviaţiile de vârstă de acest fel - "întinerirea" considerabilă a mostrelor - sunt explicate prin îmbibarea materialelor datate cu acizi humici, înfiltraţi din depunerile de pământ superioare, fapt subestimat în primii ani ai aplicării metodei radiocarbon. (Acizii humici sunt compuşi organici, cu o structură încă insuficient cunoscută, care se formează în sol). În urma acestor observaţii, cu scopul de a îndepărta acizii humici,

s-a introdus pretratarea mostrelor prin spălări alcaline, ceea ce a devenit generală în practica laboratoarelor, fiind considerată suficient de eficace în cazul lemnului, al cărbunelui de lemn şi al oaselor arse. Ca urmare a rezultatelor cercetărilor pedologice mai noi, a început să fie aplicat un procedeu mai complex, efectuat în mai multe trepte, dar s-a constatat că prin tratamentul cu baze, având o concentraţie redusă, substanţele organice secundare din mostră nu pot fi îndepărtate decât parţial. Procedeul complex, repetat, uneori nici nu poate fi aplicat, fiindcă ar distruge mostra. Prin urmare, dacă există pericolul poluării, este recomandabil să se folosească pentru datare cărbunele de lemn, selectând bucăţile mai bine conservate, mai mari, care rezistă mai bine tratamentului chimic, şi al căror conţinut ridicat de carbon diminuează - chiar dacă nu exclude - influenţa poluării. În sensul celor discutate mai sus, trebuie evitată datarea fragmentelor mici, sau a firelor de cărbune, a solului cărbunos sau a pământului prelevat din vetre. În lipsa unor mostre de calitate corespunzătoare este de preferat să se renunţe la datarea radiocarbon decât să se mărească nesiguranţa datării. (Aceste recomandări privesc, în primul rând, determinările cronologice bazate pe detectarea particulelor beta; după cum s-a arătat, prin metoda numărării atomilor devine posibilă datarea eficace şi a mostrelor cu o masă foarte mică.)

2.5.2.2. Purificarea de poluanţi a mostrelor poate fi considerată deplină numai atunci, când o anumită parte a carbonului materialelor respective poate fi extrasă pe cale fizică sau chimică, şi această fracţiune nu poate proveni decât din conţinutul original al eşantionului. Cele mai importante asemenea materiale sunt lemnul şi osul.

În cazul mostrelor de lemn au fost elaborate diferite procedee pentru extragerea celulozei, ce constituie structura solidă a plantelor, respectiv a ligninei, ce se depune în membrana alcătuită din celuloză. Aplicarea acestor metode a devenit deja o rutină în determinarea vârstei mostrelor de lemn, mai ales în acele laboratoare, în care sunt datate inele de creştere în scopurile dendrocronologiei şi ale calibrării.

În ceea ce priveşte osul, la început s-a aplicat metoda dizolvării materialului în acizi concentraţi şi, apoi, recuperarea lui prin dializă, precum şi spălarea alcalină, deja menţionată, pentru neutralizarea acizilor humici. Ulterior au fost elaborate procedee mai perfecte; în zilele noastre se utilizează mai cu seamă aşa numită metoda Longin, după numele specialistului care a elaborat-o în 1971, constând din extragerea şi datarea colagenului. Colagenul este o proteină de osatură, componentă organică a oaselor. Osul viu conţine cca 25% colagen, această cantitate se diminuează însă continuu după instalarea morţii, de aceea se poate întâmpla ca în oasele vechi să rămână doar 1% din colagenul iniţial. Aşa se explică faptul că pentru datarea oaselor este necesară, uneori, o masă de material de 1 kg, eventual şi mai mult. De asemenea, în cursul procedeului de pretratare, trebuie asigurată cu multă grijă îndepărtarea acizilor humici. Pentru eliminarea, în continuare, a primejdiei poluării mostrelor, Tom Stafford, de la Universitatea Arizona, în 1983 a elaborat o metodă, conform căreia, pentru datarea radiocarbon este utilizat doar carbonul extras din aminoacizii specifici proteinelor existente în oase. Unul dintre acestea este hidroxi-prolina, care, în afară de oase, se întâlneşte doar în foarte puţine alte materiale (în morcov, de exemplu).

2.5.2.3. În încheiere, vom menționa acele materiale, a căror purificare este nesigură. Avem în vedere cazurile în care substanța poluantă are aceeași compoziție chimică ca și materialul mostrei. Firește, acest tip de poluare nu poate fi neutralizată prin metode chimice. Procedeul de pretratare se poate limita doar la îndepărtarea părții exterioare a mostrelor, utilizând pentru datare doar interiorul - probabil mai puțin contaminat - al eșantioanelor.

2.5.3. *Reprezentativitatea mostrelor.* Condiția indispensabilă a datării oricărei descoperiri, oricărui complex ori "fenomen" arheologic este utilizarea pentru determinarea cronologică a unor mostre, a căror formare a fost contemporană cu fenomenul respectiv (după termenul folosit de Evin: cu "evenimentul arheologic"). Această cerință se înfăptuiește mai cu seamă atunci când mostra provine dintr-un organism viu, mort în urma unei intervenții umane, și ajuns într-o așezare sau într-un monument funerar de odinioară în cursul întrebuințării sale. Dintre exemplele cele mai la îndemână putem să menționăm cărbunele provenit din vetre și cuptoare (rezultat din lemnul folosit drept combustibil pentru activitățile gospodărești zilnice), oasele, nu odată cu urme de arsură, ale animalelor vânate ori sacrificate, consumate etc. Chiar și printr-o astfel de selectare a mostrelor se poate întâmpla să se obțină rezultate sensibil diferite de cele așteptate. Acest fenomen poate să aibă mai multe cauze.

2.5.3.1. *Materiale mai vechi, utilizate de populațiile preistorice și din Antichitate.* În datarea radiocarbon poate crea multe dificultăți lemnul, care putea să aibă deja o vârstă apreciabilă în momentul folosirii (sau refolosirii) sale de

odinioară. Acest pericol trebuie luat în seamă mai ales în regiunile cu climă uscată, unde materialul lemnos se conservă vreme îndelungată în aer liber. Din datarea mostrelor de cărbune, prelevate din aşezările de tip *tell* preistorice, se poate deduce, de pildă, că, drept lemn de construcţie sau combustibil, au fost folosiţi, nu o dată, şi stâlpii rămaşi din perioadele de locuire anterioare. Cazuri asemănătoare pot fi întâlnite şi în Antichitate sau în Evul Mediu timpuriu. De pildă, materialul lemnos al unei construcţii, ridicată la Kusur-Isa, în Egipt, în anul 320 d.H., a fost refolosit la zidirea unei mănăstiri copte din secolul al VII-lea, şi, în consecinţă, rezultatul datării radiocarbon a fost acelaşi în ambele cazuri: 1645 ± 80 BP.

Există şi situaţii în care conţinutul de ^{14}C al mostrei şi, implicit, rezultatul datării este deformat din cauza prezenţei, sub diferite forme, a carbonului fosil. Populaţia Orientului Apropiat a folosit, de pildă, încă din Neolitic, bitumul pentru etanşarea coşurilor sau a altor obiecte împletite din nuiele sau trestie. În cursul proceselor de prelucrare s-au putut forma pete de bitum pe vetre şi în apropierea lor. Nu este, deci, surprinzător că pe mostrele prelevate din asemenea aşezări au fost măsurate, uneori, date neverosimil de "ridicate", adică mult mai timpurii, decât cele aşteptate; spre exemplificare menţionăm că datarea radiocarbon a unei mostre prelevate de pe o vatră a aşezării de la Mergarh este 32650 +3000/-2000 BP! (Dacă mostra a fost colectată într-o regiune unde bitumul se găseşte şi la suprafaţă, procedeul de pretratare trebuie să cuprindă şi extragerea bitumului. Se crede, de altfel, că prezenţa bitumului ar putea fi o cauză a datărilor considerate uneori prea ridicate pentru monumentele arheologice ale Orientului Apropiat). Se ştie, apoi,

că romanii au folosit și huila în cursul prelucrării metalelor (la reducerea minereurilor, de pildă), zgura rezultată fiind valorificată la construirea drumurilor. Prezența, în acest fel, a carbonului fosil, poate să ducă, de asemenea, la rezultate de datare ^{14}C, ce sunt în contradicție cu vârsta reală a mostrelor.

2.5.3.2. *Deranjarea sitului odată cu îngroparea mostrei.* Așezări noi sunt întemeiate adesea în locuri - ce asigură condiții favorabile vieții omenești -, care au fost ocupate și în alte perioade, anterioare. Există, apoi, așezări care au fost locuite în cursul a mai multor generații, nu o dată timp de secole, așezări în care sunt reprezentate mai multe faze și etape succesive ale aceleiași culturi arheologice. Locuitorii perioadelor mai recente, vrând - nevrând, săpând, de pildă, o groapă, o locuință adâncită în pământ, ori un mormânt, produc deranjamente în straturile inferioare (anterioare), ceea ce poate să ducă la amestecul obiectelor arheologice, inclusiv la cel al mostrelor ce urmează a fi selectate pentru datare.

2.5.3.3. Pot interveni și *deranjamente ulterioare constituirii straturilor unui sit arheologic:* prin galeriile rozătoarelor, râmelor sau ale altor viețuitoare mici, de-a lungul găurilor formate din cauza rădăcinilor, ori chiar prin solurile afânate, ușor penetrabile, obiecte mai mici sau mai mari, fragmente, particule de materiale se pot deplasa din straturile superioare în cele inferioare.

2.5.3.4. Nu poate fi neglijat nici *factorul uman, responsabilitatea arheologului.* Șansele unei datări radiocarbon

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI

corecte a mostrelor colectate sunt fundamental determinate de pregătirea şi experienţa specialistului care efectuează cercetările, de calitatea săpăturii. Eroarea comisă pe teren, pe şantierul arheologic, nu poate fi remediată în laborator. Cunoscând temeinic realităţile de la faţa locului, stratigrafia, condiţiile de descoperire, numai conducătorul săpăturii arheologice este în măsură să stabilească, cu ocazia prelevării mostrei, dacă există pericolul contaminării sau amestecului cu materiale mai vechi sau mai noi; de priceperea sa depinde, până la urmă, calitatea mostrei trimise spre analiză - una din premisele unei datări credibile. Conservarea efectuată pe şantier, în institut sau muzeu, împachetarea, depozitarea şi transportul necorespunzătoare pot constitui, de asemenea, surse ale poluării. Este recomandabil să nu se efectueze nici o metodă de conservare (mostrele nu ar trebui curăţate excesiv nici de pământul depus pe ele şi cu atât mai mult nu trebuie spălate), şi ca eşantioanele, împachetate, de preferinţă, în folie de aluminiu (staniol steril), să fie trimise - predate cât mai repede la laboratorul de radiocarbon.

2.5.3.5. Rezultă din cele de mai sus că ar fi foarte dificil să se stabilească nişte reguli de valabilitate generală în ceea ce priveşte selectarea mostrelor: numai arheologul, colectivul care îndrumă săpătura arheologică poate să decidă, care sunt mostrele cele mai convenabile pentru datarea unui sit arheologic, pentru lămurirea unei anumite probleme cronologice. Trebuie să fim conştienţi că, şi în cazul unor

măsurători fizice precise, şansele unor determinări cronologice sunt foarte diferite, tocmai în funcţie de calitatea mostrei. Devierea vârstei măsurate de cea reală poate să aibă atât de multe cauze, încât acestea trebuie examinate separat de fiecare dată, luând în consideraţie toţi factorii posibili (particularităţile sitului, arheologul, săpătura, prelevarea mostrei, pretratarea în laborator etc.). În cazuri extreme, pe orice material pot fi obţinute determinări cronologice valabile sau nevalabile. În orice caz, Evin recomandă datarea mostrelor de os şi de cărbune de lemn, de dimensiuni mai mari şi mai bine conservate, despre care nu avem motive să presupunem că în momentul descoperirii lor ar fi zăcut în poziţie secundară. Acelaşi specialist ne avertizează să evităm datarea ^{14}C a substanţelor organice cu masă redusă, precum şi a carbonaţilor. Autorul citat atrage atenţia asupra necesităţii dialogului, a colaborării între arheologii care "furnizează" mostrele şi laboratoarele radiocarbon care efectuează datările.

În cele de mai sus ne-am referit deja şi la opiniile lui H.T.Waterbolk; să examinăm acum mai de aproape acele concluzii, ordonate cu grijă, ale savantului olandez, care se referă la mostrele ca factori de influenţare a datării radiocarbon. Dintre cele şase paragrafe următoare (2.5.4. - 2.5.9.) primele trei se leagă strâns de problemele discutate anterior, în timp ce ultimele trei sunt în legătură şi cu următorul capitol, referitor la precizia datelor radiocarbon.

2.5.4. Există o mare variabilitate în *gradul de siguranță al asocierii între mostrele selectate pentru determinările cronologice radiocarbon și descoperirile, complexele arheologice care urmează a fi datate.* În funcție de acest criteriu, mostrele pot fi împărțite în următoarele grupe:

A. Siguranță deplină: mostra măsurată provine din însuși obiectul arheologic (stâlp sau grindă de lemn, folosit în construcția unei case, barcă confecționată dintr-un trunchi de copac, resturile unui car sau al unui alt obiect de folosință, materiale organice din compoziția pastei vaselor de lut etc.).

B. Probabilitate mare: există o relație funcțională directă între materialul organic măsurat și descoperirea arheologică (de exemplu: grâne carbonizate, aflate într-o groapă menajeră, în asociere cu fragmente ceramice, caracteristice pentru o anumită cultură arheologică; cărbune de lemn provenit de pe vatra unei locuințe sau dintr-o urnă funerară; resturi de sicriu, prelevate dintr-un mormânt cu inventar caracteristic din punct de vedere cultural și cronologic).

C. Probabilitate: nu există o relație funcțională demonstrabilă între mostra măsurată și descoperirile arheologice, dar cantitatea și repartiția materialului organic pledează în favoarea unei asemenea relații (de exemplu: lemn carbonizat, în cantitate mai mare, concentrat într-o groapă menajeră sau într-un strat de cultură).

D. Probabilitate rațională: avem în vedere cazurile asemănătoare acelora din punctul C, cu deosebirea că resturile de materiale organice sunt mici și împrăștiate (de exemplu: particule de cărbune ori pământ cu urme de arsură, existente într-o groapă menajeră sau în stratul de cultură).

Gradul de siguranţă al asocierii mostrelor cu descoperirile arheologice este influenţat, totodată, şi de natura săpăturilor. Gradul de siguranţă al asocierii este mult mai ridicat în cazul săpăturilor arheologice sistematice şi prelungite, care permit cunoaşterea în detaliu a particularităţilor sitului, a raporturilor stratigrafice, a complexelor de locuire, a condiţiilor de descoperire a diferitelor obiecte etc., decât în cazul unor sondaje, adesea restrânse. Acestea din urmă permit, de obicei, doar formularea unor concluzii provizorii, de aceea mostrele provenite din simple sondaje doar arareori pot fi încadrate în categoriile A şi B. Pe de altă parte, dacă gradul de siguranţă al asocierii mostrelor cu descoperirile arheologice este redus, probabilitatea amestecului este, în general, ridicat: în cazul categoriilor C şi D aproape totdeauna trebuie să avem în vedere posibilitatea amestecului între materialul stratului din care provine mostra şi materialul straturilor superioare sau inferioare. Mai menţionăm, în încheiere, că siguranţa asocierii nu exclude posibilitatea ca mostra să fie mai veche decât complexul asociat, ce urmează a fi datat.Acesta este cazul, de pildă, dacă mostra provine din interiorul unui trunchi de copac sau dintr-un lemn de construcţie refolosit.

2.5.5. *Orice mostră* ^{14}C (dacă nu a fost contaminată cu material mai recent) *are o vechime mai mare decât data îngropării*, adică momentul în care s-a asociat elementelor constitutive ale complexului arheologic respectiv. În funcţie de această diferenţă temporală (notată cu litera d), care afectează, desigur, precizia datării, mostrele pot fi împărţite în următoarele patru grupe:

A. Diferența de timp este atât de mică, întrucât poate fi neglijată (d < 20 de ani). Ca exemple, pot fi citate rămurelele copacilor, boabele de cereale, pielea, oasele, inelele anuale de creștere exterioare ale arborilor.

B. Diferența de timp ajunge la câteva decenii (20 < d < 100 ani). De pildă: cărbune provenind din specii de copaci cu o durată de viață scurtă, inelele anuale de creștere exterioare ale unor specii de arbori cu viață lungă, în cazurile în care există motive pentru a presupune că obiectul din care provine mostra a fost utilizat vreme mai îndelungată.

C. Diferența de timp poate să fie de mai multe secole (d > 100 ani), cum este cazul mostrelor de cărbune, provenite din specii de copaci cu o viață îndelungată, ori al eșantioanelor prelevate din obiecte refolosite.

D. Natura materialului organic datat nu este cunoscută în suficientă măsură. Drept exemple pot fi citate mostrele constând din "pământ închis la culoare", "cenușă", "sol".

2.5.6. *Efectul contaminării asupra datărilor radiocarbon* depinde, pe de o parte, de vârsta mostrei, iar pe de altă parte de materialul care, la rândul său, poate fi mai vechi sau mai recent decât mostra care urmează a fi datat. În această privință putem constata următoarele:

A. Operând cu timpul de înjumătățire de 5568 ani, în cazul mostrelor cu o vârstă de aproximativ 6000 de ani, efectul contaminării cu materiale mai vechi sau mai recente este, în mare, aceleași.

B. Pentru mostrele recente, importanța contaminării cu materiale mai noi este aproape nesemnificativă.

C. Pentru mostrele mai vechi de 20.000 de ani, chiar şi prezenţa unei cantităţi foarte mici de materiale recente poate influenţa fundamental datarea, neglijarea pretratării putând duce, astfel, la erori iremediabile.

D. Poluarea cu materiale foarte vechi are acelaşi efect, indiferent de vârsta mostrei.

Efectul contaminării de grad diferit (exprimat în procente) cu materiale mai vechi sau mai recente asupra datării radiocarbon, manifestat în devieri ± de ani, poate fi ilustrat prin tabelul următor (citat după J. C. Vogel şi H. T. Waterbolk).

Vîrsta mostrei în ani BP	Gradul poluării							
	0,01%		0,1%		1%		10%	
	cu material							
	recent	vechi	recent	vechi	recent	vechi	recent	vechi
1500	-	-	-	+8	-20	+80	-160	+850
3000	-	-	-	+8	-40	+80	-360	+850
6000	-	-	-10	+8	-90	+80	-850	+850
12000	-	-	-30	+8	-270	+80	-2 390	+850
24000	-15	-	-150	+8	-1 400	+80	-8 560	+850
48000	-300	-	-2·600	+8	-12700	+80	-29500	+850

Dacă un material contaminant nu este mai recent decât jumătatea vârstei mostrei, trebuie să avem în vedere jumătatea valorilor cuprinse în tabel. Se va proceda în mod similar şi în cazul în care materialul poluant nu este mai vechi decât dublul vârstei mostrei.

Cu ajutorul tabelului se poate evalua, în ce măsură trebuia să fi fost poluată mostra, pentru a explica diferența dintre data radiocarbon măsurată și cea așteptată. De pildă, dacă mostra se dovedește cu 800 de ani mai veche decât vârsta așteptată, și această diferență este pusă pe seama contaminării sau amestecului, gradul acestuia trebuie să fi fost de cel puțin 10%. Este recomandabil ca justețea acestei prezumții să fie verificată printr-o nouă investigare, minuțioasă, a locului și a condițiilor de descoperire a mostrei.

2.5.7. *Credibilitatea datării* poate fi verificată pe mai multe căi: prin măsurători separate efectuate pe fracțiunile aceleiași mostre, prin datarea unor materiale de altă natură, asociate mostrei, ori prin datarea unor serii de mostre, provenite din același profil vertical.

A. În cazul datărilor obținute în urma măsurătorilor efectuate pe diferite fracțiuni ale aceloraşi mostre, poate fi aplicată regula formulată în 1959 de Deson și Broecker: determinarea cronologică este cu atât mai veridică, cu cât diferența dintre datarea în parte a fracțiunilor este mai mică. Dacă diferența dintre rezultatele măsurătorilor este foarte mare, și aceasta se datorează, probabil, contaminării cu material mai recent, data cea mai timpurie poate fi socotită ca cea mai sigură (verosimilă), fără să fie, neapărat, și autentică. Informația cea mai fidelă despre vârsta mostrei ne este oferită de totalitatea măsurătorilor și nu de o anumită datare, aleasă arbitrar, socotită ca cea mai apropiată de realitatea imaginată, fapt întâlnit, nu o dată, în literatura arheologică.

B. Siguranța datării poate fi evaluată și prin măsurarea ^{14}C a unor mostre de natură diferită (cărbune, oase), provenite din același strat sau complex arheologic. În siturile paleolitice, de pildă, relativ rar se întâlnește suficient material vegetal carbonizat, putând fi aflate, în schimb, de obicei, resturi de oase, arse sau nearse, în cantități mulțumitoare. Câte o mostră de cărbune de lemn putând fi, deci, binevenită pentru verificarea rezultatelor măsurătorilor efectuate, de cele mai multe ori, pe eșantioane de oase.

C. Verificarea rezultatelor măsurătorilor ^{14}C după principiile cuprinse în cele două puncte anterioare poate oferi informații importante cu privire la eventuala contaminare a mostrelor și la gradul poluării lor. Aceste date pot fi utile și în interpretarea măsurătorilor efectuate pe mostrele provenite din straturile sau complexele, mai timpurii sau mai târzii, ale aceluiași sit arheologic. Datarea corectă a urmelor de locuire ale culturii Aurignac (începutul paleoliticului superior) poate înlesni, de pildă, datarea mai precisă a vestigiilor culturii Moustier (paleoliticul mijlociu) din stratul anterior.

2.5.8. În decursul utilizării în datarea arheologică a metodei radiocarbon au existat (și încă mai există) considerabile *deosebiri între laboratoare* în ceea ce privește procedeele de pretratare, calitatea instalațiilor de măsurare, aplicarea diferitelor corecții de vârstă, ca și informațiile și comentariile ce însoțesc datările obținute. Datorită acestor deosebiri, compararea datărilor radiocarbon, publicate de diferitele laboratoare în cursul ultimelor patru decenii și jumătate, este, de multe ori, dificilă, și necesită multă precauție. Iată câteva dintre aceste probleme.

Una din cauzele rezultatelor diferite o constituie deosebirile existente în pretratarea mostrelor. Dar, chiar dacă anumite procedee de pretratare vor fi general aplicate, vor exista, și în viitor, mostre "problematice", care vor îngreuna compararea rezultatelor măsurătorilor.

În ceea ce privește calitatea instalațiilor și a procesului de datare radiocarbon, în general, în diferitele laboratoare, ea poate fi dedusă doar din rezultatele măsurătorilor, de pildă din situarea în timp și din întinderea marjei de eroare (vezi experiențele prezentate în paragraful 2.6.). În această privință trebuie să avem în vedere, însă, și deosebirile existente în practica de raportare a rezultatelor datărilor. Această practică s-a modificat, evident, în cursul anilor, tinzându-se spre o standardizare (vezi, spre exemplu cele arătate în legătură cu fracționarea izotopului sau pretratarea mostrelor), ceea ce nu diminuează însă cu nimic dificultățile utilizării datelor publicate în trecut. Spre a ilustra cele afirmate, putem menționa că unele laboratoare (Groningen, de exemplu) au luat în calcul doar eroarea rezultată din nesiguranța măsurării, în timp ce altele (Pennsylvania, de pildă) au mai adăugat ± 30 de ani pentru nesiguranța timpului de înjumătățire. Un timp, laboratorul de la British Museum a adaugat și o eroare adițională de ± 100 de ani pentru compensarea fracționării izotopului și a efectului De Vries. Pentru contrabalansarea acestor nesiguranțe, alte laboratoare (Copenhaga, Berlin) au avut în vedere o marjă de eroare de cel puțin ± 100 de ani, sau, pur și simplu, au dublat deviația standard (Michigan). Tocmai din cauza acestor deosebiri existente în determinările cronologice, în stabilirea marjei de eroare, inclusiv, compararea în vederea unor concluzii

istorice a datărilor, mai ales a celor obținute în primele decenii de aplicare a metodei, devine, adesea, dificilă. Utilizarea corectă a datelor radiocarbon este îngreunată, adesea, de faptul că, publicând datările, este neglijată descrierea mostrelor, a condițiilor de descoperire etc. Se întâmplă ca nici laboratorul, nici arheologul care a selectat mostra să nu comenteze nici măcar rezultatele evident false. Principalul vinovat este, de multe ori, tocmai arheologul care ia act de datarea radiocarbon obținută, fără să caute explicația pentru rezultatul eronat (contaminare, amestec din cauza unor deranjamente stratigrafice etc.).

2.5.9. *Valabilitatea datărilor radiocarbon* poate să fie atât de diferită (datorită unor factori fizico-chimici și/sau arheologici), încât ar fi nejustificat să se calculeze valoarea medie a tuturor datelor referitoare la un fenomen arheologic particular. Stabilind limitele cronologice ale unei faze sau culturi, în cazul perioadelor nu prea vechi (0-3000 BP) este recomandabil să avem în vedere mai degrabă datele mai târzii, iar privitor la trecutul mai îndepărtat (12000-50000 BP) par a fi mai valabile datele mai timpurii. Cele trei cifre - limită reprezintă, rotunjit, jumătatea, respectiv, dublul timpului de înjumătățire a radiocarbonului, precum și limita general admisă a aplicabilității acestei metode.

Există o tendință în arheologia contemporană de a pune pe primul plan valorile medii: unii specialiștii cred că media cât mai multor date ^{14}C s-ar apropia cel mai mult de data căutată. Trecând peste faptul că nu toate datele au aceeași valoare, printr-un astfel de procedeu s-ar micșora foarte mult șansa de a

determina începutul și sfârșitul, și, implicit, durata unei culturi, faze ori etape de dezvoltare. Corespunde mult mai bine scopurilor arheologiei, ca ramură a științelor istorice, să se stabilească cât mai circumspect, pe baza datelor existente, momentul de început și de sfârșit al fenomenelor cercetate. Rezultă din considerentele următoare că, în temeiul mostrelor reprezentând perioade istorice mai recente, sfârșitul unui fenomen arheologic poate fi mai precis determinat decât începutul său.

A. Cu cât o mostră este mai recentă, cu atât mai mare este șansa ca situl, de unde a fost ea colectată, să fi fost locuit și anterior, și, astfel, cu atât mai probabil ca eșantionul să fie amestecat cu material mai vechi, de aceeași natură.

B. Substanțele mai noi, infiltrate în mostrele mai recente pot fi, de cele mai multe ori, neutralizate cu succes, ori efectul lor poate fi sensibil diminuat.

C. În cazul mostrelor recente efectul asupra datării al unui posibil amestec cu material mai vechi este mai însemnat decât influența amestecului cu un material mai nou.

D. La mostrele de lemn mai recente, vârsta copacului, atinsă înainte de tăierea și utilizarea, respectiv îngroparea sa, poate fi mult mai mare decât deviația standard, calculată în urma măsurătorilor.

Pentru mostrele datând din perioade mai vechi, considerente similare celor expuse mai sus duc la concluzii tocmai opuse. În ceea ce privește mostrele de vârstă medie (cuprinsă între jumătatea și dublul timpului de înjumătățire, deci cca 3000 și 12000 BP), experiența arată că deși contaminarea cu materiale mai recente este, uneori, considerabilă, în majoritatea cazurilor aceasta poate fi, totuși, neglijată.

Lucrând cu datele radiocarbon, este necesar să se acorde o mare atenție dispersiei datelor referitoare la același fenomen arheologic, ca și comparării datelor obținute pe baza mostrelor de natură diferită. În această privință sunt deosebit de utile datele obținute pe analiza semințelor (a boabelor de cereale, de pildă), căci, în acest caz, vârsta radiocarbon măsurată coincide, practic, cu momentul îngropării mostrei, care, în momentul întrebuințării sale, poate fi considerată de vârstă zero.

Nu este atât de simplă datarea ^{14}C a resturilor de lemn (inclusiv carbonizat). Marea dispersie a datelor, ca și datările din cale afară "ridicate" se datorează, de multe ori, vârstei copacului atinse până în momentul tăierii sale: vârsta radiocarbon măsurată cuprinde, în acest caz, nu numai timpul care a trecut de la tăiere/întrebuințare/îngropare, ci la acesta se adaugă și vârsta copacului. Mai exact: se adaugă vârsta materialului lemnos investigat, ceea ce este evident diferită în funcție de proveniența mostrei din țesuturile formate mai de mult sau mai recent ale trunchiului unui copac. Având în vedere anumite particularități ale creșterii arborilor, la unele mostre există posibilitatea de a evalua vârsta copacului și de a corecta datele ^{14}C măsurate. Există și alte considerente care ar putea fi de folos în interpretarea datărilor radiocarbon, obținute pe material lemnos.

A. Grosimea (și, astfel, vârsta) unui trunchi de copac, folosit ca stâlp de susținere la construcția unei case, poate fi evaluată pe baza diametrului locului ("gropii", "găurii") stâlpurilor, observate în cursul săpăturii arheologice. În Olanda s-a constatat, de pildă, că la construirea caselor culturii ceramicii

liniare (bandate) din epoca neolitică au fost utilizați, în general, stâlpi (pari) de lemn mult mai groși decât în cazul construcțiilor din epoca bronzului, cu toate că în ambele cazuri a fost folosită aceeași specie - stejarul. Așa se explică faptul că datele ^{14}C, obținute pe mostre de cărbune de lemn, prelevate din așezările neolitice, prezintă o mai mare dispersie decât cele privitoare la epoca bronzului.

B. Când mostrele de cărbune au fost colectate de pe vetre sau din cuptoare, datele prezintă o mai mică dispersie, ceea ce, de bună seamă, se datorează faptului că, în preistorie, drept combustibil pentru activitățile gospodărești zilnice a fost folosit, în cea mai mare parte, lemn foarte tânăr.

C. Observațiile făcute în necropola tumulară de incinerație de la Toterfout-Halve Mijl sugerează că la rugurile funerare s-a folosit, de asemenea, în cea mai mare parte, lemn tânăr, astfel încât vârsta ^{14}C măsurată trebuie să fie apropiată de vârsta radiocarbon reală.

D. Prin studiul botanic al mostrelor de cărbune poate fi determinată specia de lemn, ceea ce ne oferă, totodată, și o oarecare idee asupra vârstei posibile a copacului utilizat, ceea ce ar putea fi mult mai mare la stejar, decât la mesteacăn, de pildă. Aceleași studii ne pot indica dacă mostra provine dintr-un trunchi de copac, mai mult sau mai puțin gros, sau dintr-o ramură tânără.

După opinia arheologului ceh J. Neustupný, exprimată în 1968, diferența medie între vârsta ^{14}C a mostrelor de cărbune de lemn, respectiv, de boabe de cereale carbonizate, poate fi evaluată la aproximativ 100 de ani. Aceasta ar putea fi rezonabilă în cazul rămășițelor de stejar, dar nu și pentru lemnul

de esență moale. J.C.Vogel considera, de pildă, în 1969, că datele ^{14}C, obținute pe mostre de cărbune de lemn, sunt, în medie, doar cu 50 de ani mai timpurii decât vârsta lor radiocarbon reală. Ţinând seama de cele discutate mai sus, se poate afirma, împreună cu H.T.Waterbolk, că - în ciuda tuturor eforturilor - nu dispunem încă de reguli general valabile, prin care ar putea fi corectate erorile de datare ^{14} C, izvorâte din vârsta mostrelor de lemn (carbonizat).

2.6. *Despre acuratețea datărilor radiocarbon*

Evaluarea măsurii în care datele obținute corespund vârstei radiocarbon "reale" a mostrelor prezintă o importanță fundamentală atât pentru specialiștii care efectuează măsurătorile, cât și pentru arheologii care utilizează datările ^{14}C. (Nu avem în vedere acum devierea între cronologia radiocarbon și cea istorică/calendaristică, datorată oscilațiilor care au avut loc în concentrația de radiocarbon a atmosferei.) Experiența acumulată în cursul aplicării deja de câteva decenii a metodei demonstrează că siguranța datării este influențată de numeroși factori, fizici, chimici și de altă natură. Un rol determinant prezintă, pe de o parte, însăși mostra selectată pe teren (materialul, calitatea, vârsta, legătura ei cu fenomenul arheologic ce urmează a fi datat), iar pe de altă parte, toate momentele muncii de laborator (pretratarea mostrei, prepararea gazului sau lichidului de măsurat, detectarea radioactivității mostrei, a etalonului și de fond, calcularea vârstei și a marjei de eroare etc.) și, în strânsă legătură cu acestea, nivelul tehnic al laboratoarelor. În fine, nu poate fi neglijat nici faptul, despre care se vorbește doar arareori: factorul uman, ceea ce este

valabil atât în legătură cu selectarea mostrelor pe teren, cât şi cu etapele muncii de laborator. Comentând experienţa de control internaţională, iniţiată de laboratorul de radiocarbon de la Glasgow, pe care o vom prezenta mai jos, R.Nydal nota că, de bună seamă, specialiştii cu experienţă nu au fost surprinşi de rezultatul la care s-a ajuns, ceea ce ne avertizează asupra necesităţii controlului permanent al calităţii activităţilor desfăşurate chiar şi în laboratoarele bine dotate. În cursul ultimilor ani, cele mai multe laboratoare s-au lărgit în mod considerabil, personalul s-a mărit, activitatea s-a deplasat spre munca de rutină. Diviziunea muncii în cadrul laboratoarelor s-a adâncit, activităţile s-au împărţit între specialişti care îndeplinesc sarcini parţiale şi care nu au totdeauna capacitatea de a avea o viziune de ansamblu asupra întregului proces de activitate. Ca un exemplu opus, Nydal menţionează marele pionier al datării radiocarbon, profesorul H. de Vries de la Groningen, care a urmărit, zi de zi, procesele de lucru de laborator, îndrumând personal fiecare pas al determinării cronologice a mostrelor "problematice", a celor foarte vechi, de pildă.

Măsura în care materialele selectate pentru datare pot influenţa rezultatele determinărilor cronologice, cu alte cuvinte sursa de eroare izvorâtă din mostră, a fost discutată deja în paginile acestei lucrări. Să examinăm, deci, în continuare, cât de precisă este determinarea cronologică în cazul unor măsurători efectuate pe mostre, ce pot fi considerate ideale. Dorim să menţionăm, în prealabil, că deşi metoda radiocarbon este aplicată de decenii în cercetarea geologică şi arheologică, au fost iniţiate prea puţine observaţii experimentale cu scopul de a

evalua limitele de eroare reale ale metodei. După cum am arătat deja, de la începutul anilor '50 laboratoarele radiocarbon obişnuiesc să publice datele ^{14}C împreună cu marjele lor de eroare, exprimate în ani ± (vezi: deviaţia standard). Stabilirea marjei de eroare se bazează, în general, pe statistica de detectare, deci pe evaluarea teoretică a nesiguranţei măsurării radioactivităţii. Este, poate, surprinzător, dar nici până astăzi nu există un procedeu standard, elaborat în mod detaliat, general acceptat şi aplicat, în calcularea limitelor de eroare, cu toate că, potrivit recomandărilor revistei *Radiocarbon,* această valoare trebuie să exprime toate sursele nesiguranţei măsurării fizice. (Conform acestei principii, la calcularea deviaţiei standard trebuiesc luate în consideraţie atât statisticile de măsurare a radioactivităţii mostrei, a etalonului cât şi a celei de fond).

O altă problemă esenţială este aceea, dacă eroarea statistică prezentată alături de datele ^{14}C reflectă oare precizia reală a determinării cronologice? În lumea specialiştilor a devenit aproape generală opinia, conform căreia deviaţia standard a vârstei, bazându-se, în fond, pe estimări teoretice, nu exprimă cu claritate nesiguranţa reală a datării radiocarbon. Aceasta poate fi evaluată doar pe cale experimentală, prin testarea multiplă a unor mostre tipice, altfel spus, printr-o metodă care este larg aplicată în diferitele ramuri ale ştiinţelor analitice.

În domeniul cercetărilor legate de cronologia radiocarbon s-a recurs relativ târziu la această metodă a verificării rezultatelor. Primul studiu important de această natură a fost elaborat de R.M.Clark (1975), care a examinat rezultatele

măsurătorilor repetate, efectuate pe mostre de *Pinus aristata*, în vederea calibrării datelor ^{14}C. Mostrele "multiplicate", prelevate din materialul lemnos al unor inele de creştere de vârstă identică, au fost măsurate ori în mod independent, în laboratoare diferite, ori în acelaşi laborator, dar cu ocazii diferite. Potrivit observaţiilor lui Clark, dispersarea datelor a fost, în general, mai mare, decât cea la care se putea aştepta numai pe baza erorii de măsurare semnalate. Într-un raport publicat mai târziu, autorul a exprimat cantitativ această abatere susţinând că eroarea reală a determinării cronologice este de două ori mai mare decât nesiguranţa statistică semnalată. La concluzii similare au ajuns, în 1977, şi R. Pardi şi M. Marcus, în legătură cu rezultatele măsurătorilor obţinute în acelaşi laborator. În ceea ce priveşte mostrele datate în laboratoare diferite, potrivit evaluărilor celor doi autori, eroarea reală a determinărilor cronologice poate să fie de patru ori mai mare decât valoarea stabilită pe baza statisticii de măsurare.

Această eroare adiţională a datării ^{14}C a fost studiată temeinic în anii următori de E. M. Scott, M. S. Baxter şi T. C. Aitchinson, colaboratori ai unuia dintre cele două laboratoare radiocarbon ale universităţii din Glasgow. În cadrul unui program special de măsurare ei au datat mostre constând din materiale omogenizate, respectiv, eşantioane "multiplicate", ce pot fi considerate, deci, ca fiind identice, prelevate din secţiuni de inele de creştere concentrice. Scopul primordial al specialiştilor amintiţi a fost evaluarea mai realistă, pe baza măsurătorilor (determinărilor cronologice) multiple, a variabilităţii datării într-un laborator cu scintilaţie de precizie medie, cum este cel de la Glasgow. În al doilea rând ei şi-au

propus să integreze rezultatele acestui program experimental în investigarea teoretică a metodelor statistice alternative ale calibrării datelor ^{14}C, în vederea elaborării unei metode generale de corecție a datelor radiocarbon, pe baza evaluării reale a erorilor. Experiențele cercetătorilor scoțieni au confirmat justețea opiniei, potrivit căreia marja de eroare a determinărilor cronologice ^{14}C (deviația standard), indicată în mod obișnuit, nu reflectă în suficientă măsură variabilitatea experimentală a datărilor observată în cursul măsurătorilor multiple. Potrivit rezultatelor lor, eroarea reală a datelor ^{14}C, stabilite în laboratorul de la Glasgow, este aproximativ de două ori mai mare decât eroarea calculată exclusiv pe baza statisticii de măsurare. Această observație - care este în deplin acord cu rezultatele investigațiilor similare, anterioare - este deosebit de importantă și din punctul de vedere al calibrării. Căci, după cum subliniază Scott și colaboratorii săi, evaluarea erorii reale a datelor ^{14}C ce urmează a fi calibrate este la fel de importantă ca elaborarea însăși a unui sistem de calibrare adecvat.

Prin inițiativa aceluiași laborator de la Glasgow a fost realizat primul program internațional de măsurare care a avut drept scop să examineze pe cale experimentală, să interpreteze și să exprime cantitativ nesiguranța existentă în datarea ^{14}C a unei mostre tipice (lemn vechi). Programul, pe care îl prezentăm pe baza dării de seamă a lui M. S. Baxter, a debutat la sfârșitul anului 1979. Specialiștii de la Glasgow s-au adresat, prin corespondență, unui număr de 30 de laboratoare radiocarbon din lume, alese la întâmplare, solicitând participarea lor la o experiență de măsurare, ce urma a fi efectuată pe mostre

multiplicate. La scrisoare au sosit 28 de răspunsuri afirmative. Rezultatele ar fi trebuit să fie transmise inițiatorilor până la 1 martie 1981. Opt laboratoare, care inițial și-au exprimat adeziunea la acest program, nu s-au prezentat cu rezultatele. Astfel, până la urmă, au participat la această experiență 20 de laboratoare: trei din Scoția (printre care cele două, deja menționate, de la Glasgow), trei din Anglia (British Museum, universitățile de la Cambridge și Birmingham), trei din Statele Unite (Universitatea California și cele două laboratoare ale universității din Seattle, statul Washington), precum și câte un laborator radiocarbon din fosta Uniune Sovietică (Academia de Științe, Moscova), Franța (Universitatea Claude Bernard, Lyon), Republica Federală Germania (Oficiul de Geologie al Saxoniei Inferioare, Hannover), Finlanda (Serviciul Geologic Național), Olanda (Universitatea din Groningen), Norvegia (Institutul Tehnologic al Norvegiei), Elveția (Universitatea de la Berna), Suedia (Universitatea din Uppsala), Irlanda de Nord (Queens University, Belfast), Noua Zeelandă și Australia (Universitatea Națională, Adelaide). În acest grup se întâlnesc laboratoare de precizie diferită, unele utilizând metoda măsurării gazului, iar altele cea a scintilației lichidului.

Conform programului, cele 20 de laboratoare trebuia să dateze, în mod independent, câte un lot identic constând din opt mostre. Acestea au fost prelevate dintr-un trunchi de copac, tăiat în felii. Mostrele proveneau dintr-o porțiune a trunchiului reprezentând o perioadă de creștere de aproximativ 200 de ani. În interiorul acesteia, fiecare mostră reprezenta câte un stadiu de dezvoltare de 10 ani. Cele opt mostre, a căror vârstă radiocarbon urma să fie determinată de laboratoare, au corespuns cercurilor de creștere 2-11, 31-40, 60-69, 89-98, 118-127, 147-156,

176-185 şi 205-214. (Numerotarea porneşte dinspre partea inferioară - deci mai veche - spre cea exterioară a trunchiului de copac). În cursul experienţei, s-a referit la acestea ca la "datele" (time points) 1-8.

Mostrele au fost prelevate dintr-un trunchi de stejar bine conservat, descoperit într-un teren aluvial la Stolford (comitatul Somersetshire), în sudul Angliei. Prepararea şi distribuirea mostrelor de lemn au fost efectuate de A. Heyworth, de la University College of Walles (Aberystwyth). Aceste operaţiuni au fost făcute cu cea mai mare grijă, pentru a asigura uniformitatea mostrelor. Laboratoarele au primit instrucţiuni detaliate cu privire la pretratarea mostrelor, la stabilirea vârstei şi a marjei de eroare, la modul de comunicare a rezultatelor. În sensul acestora, de pildă, urma să fie extrasă şi datată fracţiunea de celuloză a mostrelor, iar marja de eroare trebuia să exprime doar nesiguranţa rezultată din procesul de măsurare, toate acestea servind uniformitatea experienţei. În acelaşi scop, şi pentru asigurarea autenticităţii experienţei, s-a atras atenţia laboratoarelor ca în cursul tratării mostrelor şi al determinării cronologice să evite orice măsură specială, să aplice exclusiv procedeele lor de rutină. Toate măsurătorile au fost efectuate de laboratoare în mod independent. Singura informaţie prealabilă, adusă la cunoştinţa laboratoarelor, s-a referit la vârsta aşteptată: în cursul pregătirii experienţei s-a stabilit că vârsta ^{14}C a materialului lemnos al mostrelor este aproximativ 5000 BP.

Şase laboratoare nu au avut timpul necesar pentru a efectua toate cele opt măsurători. Grupul de studii a reuşit să efectueze, în total, 143 de determinări cronologice radiocarbon, ceea ce s-a dovedit suficient pentru a oferi o informare primară

utilă cu privire la repetabilitatea datării radiocarbon, respectiv la ordinul concordanței (sau, altfel spus, al divergenței) vârstelor ^{14}C măsurate.

Înainte de a prezenta și discuta rezultatele, Baxter a socotit necesar să atragă atenția și asupra limitelor studiului. Având în vedere faptul că laboratoarele participante la experiment au efectuat cel mult opt determinări cronologice și au avut la dispoziție doar o scurtă perioadă de timp, rezultatele obținute nu permit evaluarea generală, pe termen lung, a performanței fiecărui laborator în parte. Defecțiunea principală a studiului constă în faptul că toate concluziile la care s-a ajuns se bazează doar pe datarea unor mostre de lemn cu o vechime de aproximativ 5000 de ani. Pentru a obține o imagine cuprinzătoare cu privire la erorile datării radiocarbon, cercetările trebuie extinse și asupra mostrelor de altă natură și de vârste ^{14}C diferite.

Este de menționat, în sfârșit, că, în bună parte, condițiile experimentale pot fi considerate ca ideale: mostrele au fost de bună calitate și au stat la dispoziția specialiștilor în cantitate optimă; analiza lor a avut loc cu puțin timp după prelevarea eșantioanelor. Prin urmare, orice sursă de eroare considerabilă, legată de mostre, poate fi, practic, exclusă. Astfel, la diferențierea rezultatelor, pe care o vom prezenta mai jos, nu putea contribui decât variabilitatea experimentală de termen scurt.

Rezultatele au fost sintetizate sub forma unei reprezentări grafice. Pentru a asigura anonimatul laboratoarelor, fiecare a fost marcat cu un cod de litere, de la A la T. Rezultatele măsurătorilor celor 20 de laboratoare au fost

înfăţişate alăturat, în ordinea celor opt mostre, în aşa fel, încât vârstele măsurate pot fi comparate reciproc cu uşurinţă. Datele sunt prezentate cu o eroare de ± 2s. Vârsta a fost calculată în ani radiocarbon convenţionali, cu timpul de înjumătăţire de 5568 ani (vezi fig.11).

Se poate observa că între seriile de date ale grupului de studiu există un anumit grad de concordanţă, întrucât fiecare din ele acoperă parţial domeniul de timp ^{14}C situat între 5000 şi 5200 BP. Reiese din comentariul lui Baxter că valorile medii calculate pe baza tuturor determinărilor cronologice la care s-a ajuns în fiecare laborator (deci cele 20 de date medii) prezintă o dispersie de mai bine de 370 de ani, dar 17 din 20 se situează în intervalul 5000-5200 BP. În ceea ce priveşte fiecare dată şi serie de date în parte, dispersia, respectiv domeniul de valori reprezentat de ele, nu pot fi considerate ca ideale. Toate datele determinate de grupul de studiu (deci cele 143 de datări radiocarbon) se situează într-un interval de timp de 830 de ani, între 4650 şi 5480 BP, iar în ceea ce priveşte determinarea vârstei fiecărei mostre în parte (cu alte cuvinte a celor opt "date"/"time points"), divergenţa dintre rezultatele obţinute în diferitele laboratoare varia între 316 şi 724 de ani. În cadrul seriilor de inele de creştere examinate, laboratoarele au stabilit, între vârsta mostrelor, diferenţe cuprinse între 190 şi 690 de ani. (Reamintim că diferenţa reală maximă posibilă între cea mai veche şi cea mai recentă mostră de lemn - cercurile de creştere nr.2 şi 214 - era de 212 ani. Dacă avem însă în vedere faptul că fiecare mostră reprezenta câte o etapă de creştere de zece ani, diferenţa dintre vârsta medie întrupată în mostra cea mai veche şi cea mai recentă este de numai 203 ani). Cauza împrăştierii

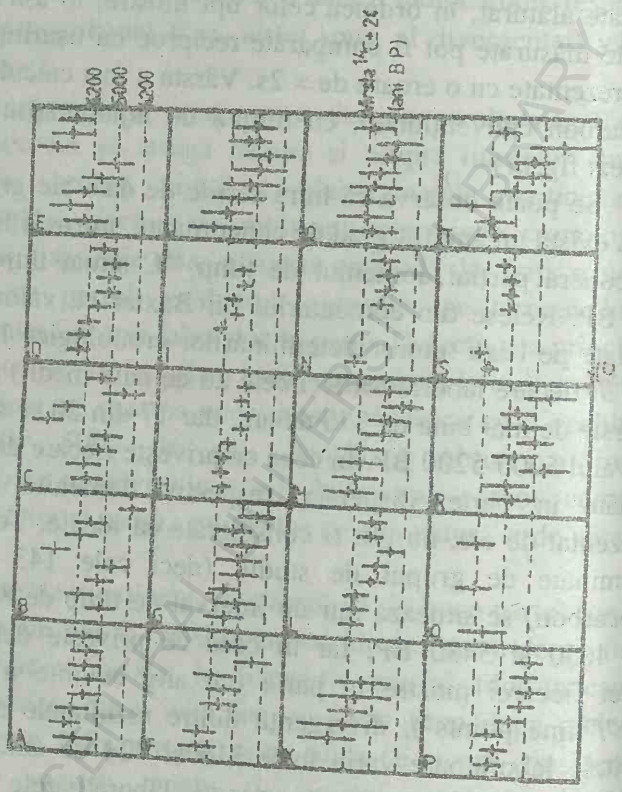


Fig.11. Schema rezultatelor grupului de studii, indicând datele radiocarbon convenționale (cu o eroare statistică de 2σ) determinate pentru același lot de opt mostre, de vârstă identică. Rezultatele au fost obținute în 20 de laboratoare, marcate cu literele A-T. (După M.S. Baxter, 1983).

atât de întinse a rezultatelor trebuie căutată, probabil, în influența devierii sistematice și a variabilității neașteptate a datelor laboratoarelor în cauză.

Întrucât vârsta "reală" a celor opt mostre nu a fost cunoscută, a devenit inevitabil să se evalueze pentru fiecare în parte, care dată individuală poate fi considerată ca optimă dintre valorile măsurate și, pe această bază, să se stabilească trendul general al datării ^{14}C în cadrul seriei de inele de creștere investigate. În acest scop, în cazul dat, s-a dovedit suficient a remarca faptul că acest trend este reprezentat în mod adecvat de datele laboratorului de mare precizie, marcat cu litera H. (Cu toate că datele absolute nu au fost comunicate, reiese foarte clar din reprezentarea grafică menționată și reprodusă alăturat că deviația standard a vârstelor stabilite în laboratorul cu sigla H este foarte redusă, iar valorile centrale ale datelor sunt situate fără excepție în intervalul de timp cuprins între 5000 și 5200 BP). O astfel de evaluare a vârstei radiocarbon "reale" a mostrelor a făcut posibil să se evalueze devierea sistematică și factorul de variabilitate întruchipate în rezultatele laboratoarelor și, mai departe, să se deducă gradul de precizie a determinărilor cronologice efectuate în diferite laboratoare. Acest lucru are, înainte de toate, o însemnătate locală, căci, prin compararea rezultatelor, fiecare laborator poate să evalueze, cu claritate, precizia propriilor procedee. Pe de altă parte - dintr-o perspectivă mai generală - performanța grupului de studiu poate fi considerată ca reprezentativă dacă avem în vedere faptul (reflectat și de rezultatele obținute) că laboratoarele care au luat

parte la această experiență sunt foarte deosebite în ceea ce privește nivelul lor calitativ. (În funcție de precizia lor, cele 20 de laboratoare au fost împărțite în patru grupe. În prima grupă au fost clasificate trei laboratoare de precizie, în cea de a patra alte trei, de slabă performanță. Celelalte 5+9 laboratoare și-au găsit locul în cele două grupe intermediare).

Reiese din rezultatele obținute că procedeele de precizie pot diminua în mare măsură eroarea determinării cronologice. Este demnă de atenție și, totodată, îndeamnă la noi investigații observația, potrivit căreia dispersarea datelor determinate în laboratoarele ce folosesc metoda scintilației lichidului este mai mare decât a acelora, stabilite prin procedeul măsurării gazului. Compararea valorilor medii ale datelor determinate în diferite laboratoare pune în lumină, de asemenea, deosebirile existente între laboratoare. De pildă, datele laboratoarelor care recurg la măsurarea gazului sunt, în general, mai înalte (mai timpurii) decât determinările cronologice ale laboratoarelor ce contorizează scintilațiile lichidului. În laboratoarele clasificate în grupele I și II au fost obținute, de asemenea, în general date mai timpurii, în comparație cu laboratoarele aparținând grupelor III și IV.

Rezultatele experienței internaționale au furnizat noi dovezi cu privire la faptul că în datarea radiocarbon eroarea măsurării ^{14}C exprimă doar parțial eroarea reală a determinării cronologice (ceea ce este, în general, cel puțin de două ori mai mare decât valoarea indicată de obicei). Determinările cronologice ale multor laboratoare prezintă o deviere sistematică și o împrăștiere mai mare decât cea așteptată. Sursa acestei erori adiționale este astăzi, în cea mai mare parte, încă necunoscută.

Având în vedere grija cu care au fost alese, prelevate, preparate și distribuite mostrele, acești factori pot fi, practic, excluși. Pot fi luate în considerație diferitele procedee de laborator, deja menționate, sau alte surse generatoare de erori, cum ar fi fracționarea izotopului, efectul de memorie, unele erori de volumetrie ce pot apărea, eventual, la producerea "cocteilului - eșantion", ori poluarea cu radionuclizi de scurtă existență; se părea, totuși, că nici acestea nu pot fi socotite ca determinante. A devenit clar, prin urmare, că sunt necesare noi experiențe de intercalibrare pentru a putea evalua, interpreta și corecta mai temeinic nesiguranța adițională a determinării cronologice ^{14}C. A devenit evidentă, de asemenea, necesitatea aplicării unor procedee consecvente și general acceptate pe tărâmul determinării și prezentării erorilor în datarea radiocarbon.

Este, deci, firesc că genul de studii "inter-laboratoare" sau de "inter-comparare", pe bază de colaborare internațională, a continuat și în anii următori. La conferința radiocarbon de la Trondheim (Norvegia), în 1985, specialiștii de la Universitatea din Glasgow au inițiat un nou program de cercetări în acest domeniu, scopul proiectului (numit *International Collaborative Study)* fiind expus de E.M.Scott. Rezultatele programului au fost prezentate la consfătuirea organizată în acest scop, la East Kilbride, lângă Glasgow, în septembrie 1989, la care au participat reprezentanții a 50 de laboratoare radiocarbon din cele 131, active la acea dată. Aceste rapoarte au fost publicate apoi în *Radiocarbon* (1990) de M.Baxter, E.M. Scott, T.C. Aitchinson și colaboratorii lor.

Prin acest proiect s-a urmărit, pe de o parte, evaluarea cantitativă a variabilității datărilor radiocarbon și stabilirea, pe de altă parte, în ce măsură această variabilitate poate fi explicată

prin procesele de măsurare, sintetizare și pretratare ale mostrelor. Spre deosebire de experiențele Grupului de Studii, prezentate în paginile anterioare, acest program a fost mult mai cuprinzător: s-a desfășurat în cursul a peste patru ani, la el a participat, până la capăt, un număr aproape dublu de laboratoare, a fost analizată o gamă largă de mostre, atât în ceea ce privește materialul cât și vârsta.

Proiectul, pe care îl prezentăm aici pe scurt, s-a desfășurat în trei etape. În prima au fost folosite mostre de carbonat de calciu și de benzen pentru a investiga variabilitatea datării cauzată de procesul de măsurare. În cea de a doua etapă fiecare laborator a fost aprovizionat cu mostre omogenizate și pretratate, constând din cochilii de scoici, turbă și celuloză, pentru a investiga variabilitatea datorată sintetizării mostrelor. În cea de a treia etapă, celor 38 de laboratoare, care au luat parte la experiență, li s-a cerut să realizaze câte opt datări ^{14}C pe mostre "multiplicate" dintr-un lot de trei seturi de materiale (lemn, valve de scoici, turbă) și, separat, pe două mostre individuale de lemn de vârstă cunoscută (190 ani BP).

În toate cele trei etapele s-a constatat, în general, o consecvență mulțumitoare în ceea ce privește variabilitatea internă, adică precizia datărilor obținute în cadrul laboratoarelor în parte. În schimb, variabilitatea externă, "inter-laboratoare", deci abaterea datărilor obținute în diferitele laboratoare de la vârsta "reală" a mostrelor a fost considerabilă, uneori chiar alarmantă.

În urma rezultatelor obținute în cursul celor trei etape ale proiectului, specialiștii au definit trei indici: coeficientul de eroare internă, coeficientul de eroare externă și devierea sistematică, valori evaluate pentru variabilitatea observată în

toate etapele desfăşurării programului. În ceea ce priveşte contribuţia diferiţilor factori la variabilitatea constatată, s-a ajuns la concluzia că în cazul laboratoarelor care folosesc metoda măsurării gazului şi cea a scintilaţiei lichidului cca 66% a variaţiei totale se datorează sintetizării şi măsurării mostrelor. În schimb, la laboratoarele AMS sursa majoră a variabilităţii este în legătură cu selecţionarea, manipularea şi pretratarea mostrelor.

Acest nou proiect care, desigur, nu va fi ultimul în acest domeniu, a demonstrat încă o dată necesitatea şi utilitatea colaborării internaţionale între laboratoarele radiocarbon pentru o mai corectă evaluare a acurateţei datărilor ^{14}C, respectiv a erorii reale a determinărilor cronologice, şi pentru a asigura o mai bună comparabilitate a rezultatelor obţinute în laboratoare diferite şi prin tehnici de datare diferite.

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITARĂ

3. CALIBRAREA DATELOR RADIOCARBON

3.1. *Oscilațiile naturale ale concentrației* ^{14}C

3.1.1. *Introducere.* La sfârșitul primului deceniu de aplicare a metodei radiocarbon a devenit evident că, în decursul timpului, concentrația ^{14}C a atmosferei (și a celorlalte componente ale rezervorului dinamic) nici de cum nu a fost constantă și, în consecință, datele radiocarbon pot devia considerabil de datele reale (calendaristice). În felul acesta a fost, în fond, infirmată una din ipotezele fundamentale ale lui Libby și a devenit chiar îndoielnică aplicabilitatea metodei, ca procedeu de datare absolută. După cum am menționat deja în capitolul 1.8., primele dovezi cu privire la oscilațiile naturale în trecut ale concentrației ^{14}C au fost dezvăluite în 1958 de specialistul olandez Hessel de Vries, fenomenul purtând numele său ("efectul de Vries"). Doi ani mai târziu E.H.Willis, H.Tauber și K.O.Münnich, colaboratori ai laboratoarelor ^{14}C de la Cambridge, Copenhaga și Heidelberg, au făcut cunoscut, într-un studiu publicat în colaborare, rezultatele măsurătorilor radiocarbon, efectuate pe mostre prelevate din arborii mamuți americani (*Sequoia gigantea*) ce crescuseră după 600 e.n., mostre precis datate prin metoda dendrocronologiei. Din deviația vârstei calculate pe baza radioactivității măsurate a mostrelor față de vârsta lor reală (exprimată în ani calendaristici) specialiștii amintiți și-au putut face o idee despre

oscilațiile concentrației ^{14}C atmosferic în cursul ultimelor 13 secole, oscilații evaluate la ±1,5%. Acest studiu, considerat drept piatră de hotar în dezvoltarea metodei radiocarbon și a cronologiei preistorice întemeiate pe ea, a pus bazele unei noi ramuri a cercetării, cu o evoluție deosebit de dinamică, și, în același timp, a indicat și posibila cale a corectării, a transpunerii pe scala timpului astronomic a datelor ^{14}C.

Începând cu anii '60, una din direcțiile majore ale cercetărilor radiocarbon a constituit-o studiul oscilațiilor concentrației carbonului-14 atmosferic. Specialiștii s-au străduit să elucideze măsura, desfășurarea în timp, eventualele legități, precum și cauzele acestor oscilații. Ei au sperat că în posesia acestor date vor putea elabora curbe, respectiv, tabele de corecție (de "calibrare") cu ajutorul cărora datele radiocarbon convenționale vor putea fi transformate în date calendaristice.

Traducerea în viață a acestui deziderat devenea posibilă numai prin măsurarea/datarea radiocarbon a unor serii de mostre, a căror vârstă a fost stabilită în prealabil prin alte metode de datare, independente, și cu o precizie satisfăcătoare. În principiu, mersul "ceasornicului" radiocarbon putea fi verificat pe mai multe căi: prin dendrocronologia, cronologia varvelor, metoda termoluminescenței și a arheomagnetismului, ori prin cronologia istorică. Practic, rolul principal i-a revenit dendrocronologiei, tocmai de aceea, în literatura de specialitate se vorbește adesea despre "calibrarea prin inelele copacilor". Prin cronologia varvelor s-a încercat mai ales studierea perioadei premergătoare mileniului VII î.e.n., pentru care, până nu de mult, seria datelor dendrocronologice fusese întreruptă. Măsurarea ^{14}C a unor mostre provenite din Orientul Antic, mai

ales din Egipt, a făcut posibilă compararea cronologiei radiocarbon cu cea istorică, dar, din păcate, investigaţiile de acest fel au rămas până astăzi destul de restrânse. Marja de eroare a datărilor obţinute prin metoda termoluminescenţei este prea mare şi, în afară de aceasta, cercetarea dispune încă de relativ puţine date, astfel că această metodă este mai puţin adecvată pentru urmărirea oscilaţiilor concentraţiei de C-14. În sfârşit, arheomagnetismul a contribuit, înainte de toate, la cunoaşterea variaţiilor pe termen lung ale concentraţiei ^{14}C.

Cu abia un deceniu după debutul acestor investigaţii a devenit deja posibilă realizarea unui bilanţ al primelor rezultate obţinute, precum şi trasarea principalelor direcţii ale cercetătorilor viitoare. Prilejul a fost oferit de cel de al XII-lea Simpozion Nobel, întrunit la Uppsala, în august 1969, al cărui preşedinte de onoare a fost profesorul W.F.Libby. Corelaţia dintre variaţiile nivelului de C-14 şi cronologia absolută (tema întrunirii de la Uppsala) rămâne, firesţe, în continuare, o problemă de primă importanţă a cercetărilor, care este dezbătută, de obicei, în secţii speciale, la conferinţele de radiocarbon. Ne propunem, în continuare, să trecem în revistă, pe scurt, aceste cercetări, care au stârnit multe controverse atât în rândul specialiştilor în ştiinţele naturii cât şi în cel al arheologilor şi care, încă la sfârşitul anilor '60, odată cu elaborarea primelor curbe de calibrare, au determinat pe unii oameni de ştiinţă să proclame "cea de a doua revoluţie radiocarbon".

3.1.2.1. *Verificarea dendrocronologică a oscilaţiilor concentraţiei* ^{14}C. Fluctuaţiile nivelului de radiocarbon al

atmosferei au putut fi reconstituite mai cu seamă prin măsurarea conținutului de ^{14}C al unor mostre prelevate din seriile de inele de creștere, datate cu ajutorul dendrocronologiei. Concentrațiile ^{14}C de odinioară se fixează în țesuturile copacilor atunci când carbonul, provenit din dioxidul de carbon atmosferic, se înmagazinează în celule în cursul procesului de fotosinteză. Conținutul de ^{14}C al celulozei peretelui celular, ce se formează în cursul perioadei anuale de creștere, reflectă fidel concentrația ^{14}C atmosferică, existentă în anul respectiv. Nivelurile ^{14}C originale, de odinioară, se calculează pe baza conținutului de carbon-14 remanent, după efectuarea corecției pentru fracționarea izotopului. Vârsta exactă a mostrelor fiind cunoscută, valorile măsurate pot fi corectate și pentru pierderea de ^{14}C, intervenită din cauza dezintegrării radioactive în răstimpul care a trecut de la formarea inelului. În scopul măsurătorilor radiocarbon este folosită numai fracțiunea de celuloză a mostrei, deoarece în cursul cercetărilor privitoare la efectul testelor cu bomba cu hidrogen s-a constatat că celuloza deja formată nu asimilează carbon ulterior, prin urmare poate fi neglijat pericolul infiltrației substanței mai recente, ceea ce ar denatura determinarea cronologică. (Este de menționat că nu toți specialiștii sunt atât de optimiști: unii nu exclud posibilitatea ca în cursul vieții copacilor să se încorporeze în inelele deja formate și o mică cantitate de carbon mai recent. Un asemenea fenomen poate fi admis mai ales în cazul unor specii de arbori cu o viață foarte îndelungată, ale căror inele de creștere au fost înconjurate, timp de secole sau chiar de milenii, cu materie mai recentă, proaspăt formată).

Pe graficele şi tabelele reprezentând variaţiile concentraţiei C-14, respectiv corelaţia între vârsta radiocarbon şi vârsta reală stabilită prin numărarea inelelor copacilor, trecerea reală a timpului este exprimată, de obicei, în "ani -dendro(cronologici)" (Dendroyears, Dendro Age, Dendro-chronological Age). În cazul mostrelor de lemn datate precis cu ajutorul dendrocronologiei numărul "anilor-dendro" coincide cu numărul anilor calendaristici, cu toate acestea nu poate fi pe deplin exclusă o anumită posibilitate de eroare, ivită în cursul numărării inelelor. Termenul de an-dendro ne atrage atenţia tocmai asupra acestei posibilităţi. Eventuala eroare nu depăşeşte câţiva ani şi poate fi cauzată, de pildă, de existenţa, câteodată, a unor inele multiple sau, dimpotrivă, de absenţa, uneori, a inelelor.

Mai menţionăm că variaţiile în timp ale concentraţiei de radiocarbon se exprimă prin valorile D ^{14}C, precizate, de obicei, în miimi (‰). Această valoare reprezintă deviaţia caracteristică, la un moment dat, a nivelului C-14 de la o concentraţie admisă drept standard, datând din secolul al XIX-lea, care nu a fost încă influenţată de intervenţia omului în procesele naturii.

3.1.2.2. *Principalele tendinţe ale variaţiilor concentraţiei radiocarbon atmosferice.* În deceniile care au trecut de la publicarea studiilor amintite ale lui H. de Vries, respectiv, E.H.Willis şi colaboratorii săi, au fost efectuate mii de măsurători de precizie pe mostre de lemn datate dendrocronologic. Pe această bază specialiştii au reuşit să reconstituie principalele tendinţe ale variaţiilor nivelului de radiocarbon atmosferic în cursul ultimelor nouă milenii. Astfel,

a devenit posibilă elaborarea primelor curbe şi tabele de corecţie, cu ajutorul cărora a început calibrarea datelor radiocarbon convenţionale, cu alte cuvinte transformarea acestora în date calendaristice.

Cele mai multe măsurători au fost efectuate pe mostre prelevate din exemplarele vii şi fosile ale arborelui mamut *(Sequoia giganteia)* şi ale pinului ţepos (*Pinus aristata;* pentru aceeaşi specie se foloseşte şi termenul de *Pinus longaeva)* nord-americane. Ca rezultat al studierii acestor două specii de pin din California, de viaţă extrem de îndelungată (ce poate atinge peste 4000 de ani), C.W. Ferguson de la laboratorul de dendrologie al Universităţii Arizona din Tucson a reuşit să elaboreze serii dendrocronologice din care s-a constituit treptat un "calendar de inele" continuu, cuprinzând 8200, apoi 8681 de ani, cu posibilitatea de a fi prelungit. Alături de acesta, cu timpul, au căpătat un rol din ce în ce mai mare şi seriile dendrocronologice, continue sau "flotante", elaborate în alte regiuni ale lumii, înainte de toate în Europa.

Primele măsurători ^{14}C ample pe mostre de lemn datate cu ajutorul dendrocronologiei au fost efectuate în laboratoarele de radiocarbon ale Universităţilor California (San Diego/La Jolla), Arizona (Tucson) şi Pennsylvania (Philadelphia), sub îndrumarea lui H.E. Suess, P.E. Damon şi E.K. Ralph, pe seria de *Pinus aristata* a lui Ferguson. În acest scop au fost folosite secvenţe cuprinzând câte zece inele pentru a evita efectul ciclului solar de 11 ani. Rezultatele programului de măsurare au început să fie publicate în 1965. Odată cu avansarea cercetărilor, fiecare dintre cele trei laboratoare a construit propria sa curbă de calibrare; acestea au fost date publicităţii mai întâi de Suess

(1967, 1970), apoi de Damon (1972) și de Ralph (1973), împreună cu colaboratorii lor. Prin urmare, "curba lui Suess" (fig.12), devenită deja clasică, a permis, pentru prima dată ca lumea științifică să-și creeze o imagine despre evoluția relației dintre datele radiocarbon convenționale și datele calendaristice stabilite pe baza dendrocronologiei în cursul ultimelor câteva milenii. Realizarea programului a necesitat o muncă experimentală minuțioasă din partea laboratoarelor. Au fost măsurate 315 de mostre, în câte două reprize, cu contoare deosebite. Majoritatea mostrelor de lemn a corespuns unei perioade de dezvoltare de câte zece ani. În ceea ce privește precizia statistică a măsurătorilor, deviația standard era, în general, ±40 de ani (și nu a depășit ±100 de ani). Pe baza măsurătorilor celor trei laboratoare s-a conturat același *trend general* privind variațiile concentrației ^{14}C atmosferice, ce au avut loc în cursul ultimelor opt milenii, respectiv deviația vârstei radiocarbon de vârsta reală în intervalul de timp amintit (vezi fig.13 A-C). Deosebiri se observă mai ales în ceea ce privește detaliile, dar este neîndoielnic că din punctul de vedere al arheologiei (al datării radiocarbon) aceste detalii sunt, adesea, mai importante decât trendul general.

Pe baza datelor de control au fost stabilite trei tipuri ale variațiilor seculare ale concentrației ^{14}C.

3.1.2.2.1. Există o *fluctuație lentă, pe termen lung*; acest trend general este confirmat de măsurătorile radiocarbon, efectuate pe seriile de inele, neîntrerupte sau "flotante", ale pinului țepos din California și ale stejarului european, datând

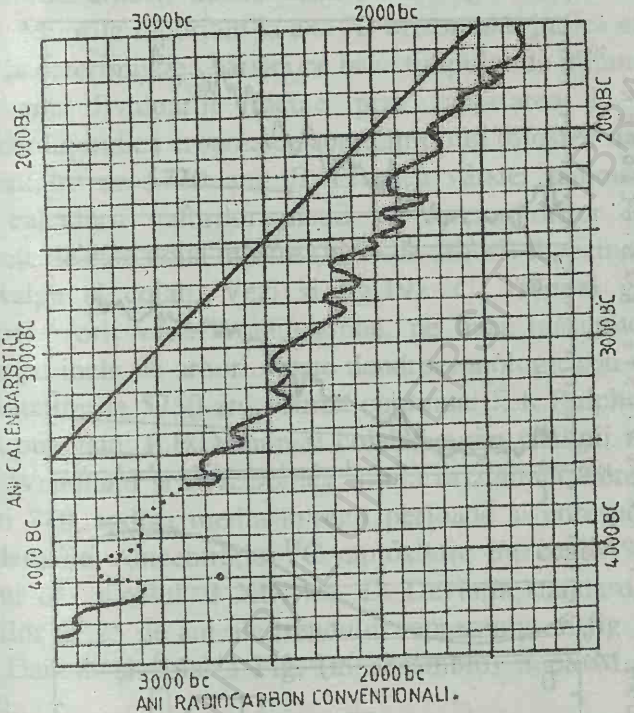


Fig.12. Curba de calibrare provizorie, bazată, în principal, pe cercetările lui H.E.Suess (1967), prezentând corelația între datele radiocarbon (determinate cu timpul de înjumătățire de 5568 ani pentru C-14) și datele în ani calendaristici, obținute prin numărarea inelelor arborelui *Pinus aristata*. (După C. Renfrew, 1970).

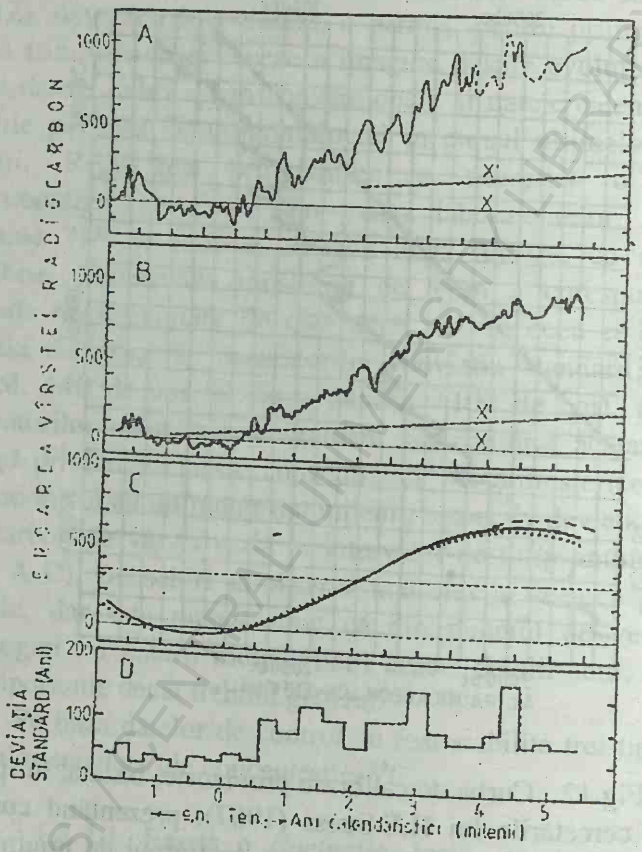


Fig.13. Explicația: p. următoare.

Fig.13. *A.* Eroarea vârstei radiocarbon, stabilită pe baza inelelor de arbori, datate dendrocronologic (după H.E.Suess, 1970). Valorile raportate la axa X, orizontală, indică eroarea ce apare la determinarea vârstei pe baza timpului de înjumătățire de 5568 ani. Evaluările făcute prin raportarea la axa X^1, ascendentă, indică eroarea ce apare în urma folosirii timpului de înjumătățire de 5730 ani. *B.* Eroarea vârstei radiocarbon, pe baza calculării valorilor medii ale măsurătorilor făcute pe secvențe de câte nouă mostre (inele de arbori) învecinate. (După E.K.Ralph și colab. Vezi și fig.19). *C.* Trendul general al variației erorii vârstei radiocarbon, pe baza măsurătorilor ^{14}C făcute pe inele de arbori datate dendrocronologic, cu timpul de înjumătățire de 5730 ani. Curba continuă: E.K.Ralph și colab.; curba punctată: P.E.Damon și colab.; curba cu linii întrerupte: W.M.Wendland și D.L.Donley. Linia orizontală, corespunzând anului 310, indică media întregii perioade și corespunde unui excedent de concentrație ^{14}C atmosferic de cca. 4% față de nivelul din secolul al XIX-lea. *D.* Deviația standard, pe baza mediilor de 25 de ani ale trendului reprezentat în fig. C. (După P.E. Damon și colab.) Fig. (în ansamblu) după M.J. Aitken, 1974).

BCU IAȘI / CENTRU

din ultimele nouă milenii. Mai mult, această tendință pare a fi confirmată și de analizele ^{14}C efectuate pe mostrele provenind din complexele arheologice ale Egiptului Antic. Unele mostre prelevate din monumentele funerare ale Regatului Vechi și Mijlociu au fost măsurate încă de Libby, aceste investigații fiind continuate apoi de alte laboratoare cu scopul de a stabili relația dintre cronologia istorică și cea radiocarbon. Potrivit observațiilor, datele ^{14}C măsurate sunt, în general, mai "joase" în comparație cu datele cronologiei istorice, și această abatere este cu atât mai mare, cu cât mostra este mai veche. S-a realizat și o reprezentare grafică a 120 de date ^{14}C, referitoare la Egiptul Antic, pentru a ilustra devierea acestora de la cronologia istorică. Diagrama astfel obținută este foarte asemănătoare cu curba trasată pe baza măsurătorilor de control dendrocronologice, ceea ce - în principiu - confirmă necesitatea calibrării datelor ^{14}C. S-a părut că în cazul în care datele radiocarbon calculate pe baza măsurătorilor directe sunt corectate pentru deviațiile cauzate de fluctuațiile pe termen lung, ele vor fi într-o concordanță acceptabilă - cel puțin în cursul mileniului al III-lea BC - cu datele istorice. Merită să fie reținut și faptul că în intervalul în care aplicarea timpului de înjumătățire îmbunătățit (de 5730 ani) ar modifica sensibil datele radiocarbon (deci, aproximativ, în perioada anterioară anului 3000 BP), fluctuațiile pe termen lung ale concentrației ^{14}C determină deviații de vârstă și mai mari. Acesta este un motiv în plus pentru aplicarea, în continuare, a timpului de înjumătățire "tradițional" (de 5568 ani).

Pe baza datelor de control dendrocronologice, referitoare la ultimii 8-9000 de ani, fluctuațiile pe termen lung ale

concentrației ^{14}C atmosferice, deci trendul general al variațiilor, poate fi ilustrat printr-o curbă sinusoidă cu o perioadă de cca 11300 ani și cu o amplitudine de 10,2% (fig.14, 15). Conform acestei curbe, mergând înapoi în timp, față de nivelul din secolul al XIX-lea AD, admis drept standard și marcat cu 0, valorile D ^{14}C prezintă, la început, o tendință ușor descrescătoare și către mijlocul mileniului I AD ating minimul de cca -15‰. Urmează, apoi, o creștere continuă și durabilă: pe la 800 BC valoarea D ^{14}C atinge din nou 0 ‰, iar în jurul anului 5200 BC, datorită creșterii neîntrerupte a concentrației ^{14}C, deviația se apropie de apogeul de 10%. Se pare că în perioada premergătoare acestui moment (având în vedere și rezultatele măsurătorilor efectuate pe seriile dendrocronologice "flotante", referitoare la mileniul VII) concentrația ^{14}C atmosferică a început să scadă din nou; totuși, datele privind trendul variațiilor anterioare mileniilor VI-VII î.H. sunt departe de a fi univoce.

Datorită variațiilor concentrației ^{14}C, datarea radiocarbon a mostrelor formate în cei aproximativ 2500 de ani anteriori secolului al XIX-lea AD va fi ceva mai "înaltă" în comparație cu vârsta lor reală, dar abaterea nu depășește 100-120 de ani. Pentru a afla vârsta reală a mostrelor, această diferență trebuie scăzută din datele radiocarbon convenționale. În schimb, în urma măsurătorilor efectuate pe mostrele provenind din epocile mai vechi se obțin date radiocarbon mult mai "joase" decât vârsta reală. La sfârșitul mileniului al III-lea BC diferența este de cca 400 de ani, la sfârșitul mileniului al IV-lea de aproximativ 600 de ani, iar în mileniile V-VI atinge (după unele calcule chiar depășește) 800 de ani. Pentru a obține vârsta reală a mostrelor, aceste valori trebuie adăugate la

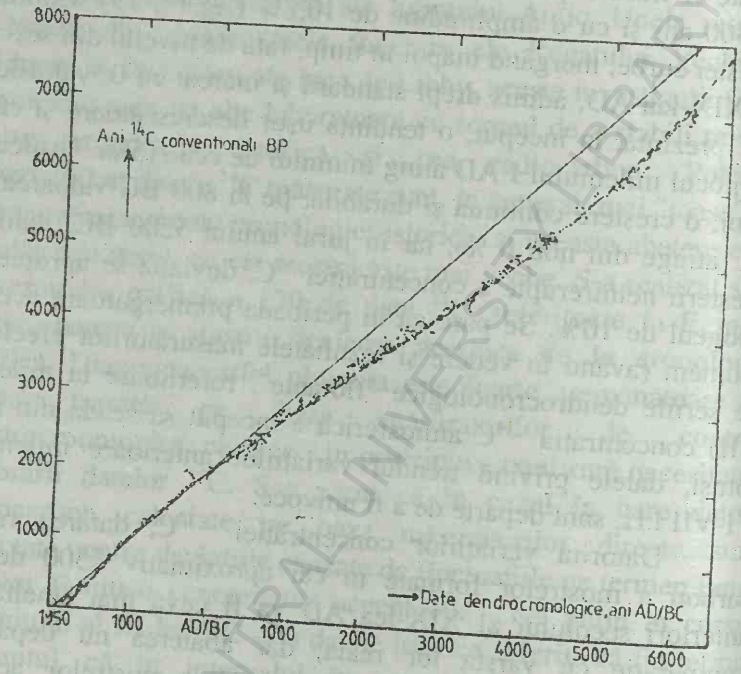


Fig. 14. Graficul măsurătorilor lui H. Suess, efectuate pe mostre de *Pinus aristata*, datate dendrocronologic. Din rațiuni de claritate a imaginii, deviațiile standard (între ± 40 și ± 100 de ani) au fost omise. Linia întreruptă reprezintă polinomul de ordinul trei, calculat de E.K.Ralph et al. (1973). (După H.E.Suess, 1978 și W.G.Mook, 1983).

BCU CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

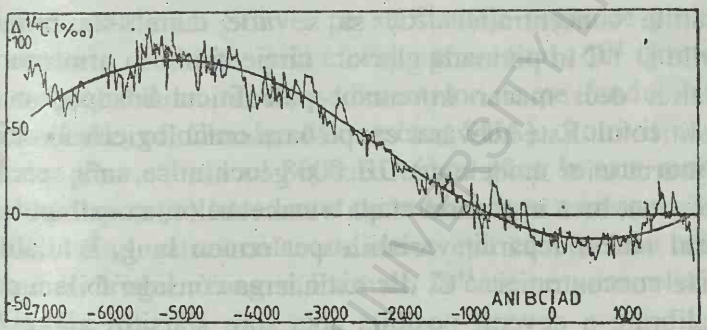


Fig. 15. Nivelul ^{14}C atmosferic în cursul ultimilor 9000 de ani, după cum rezultă din măsurătorile ^{14}C efectuate pe mostre de *Pinus aristata,* datate absolut, şi pe seriile dendrocronologice flotante de stejar european. (După M.Bruns, M. Rhein, T.W. Linick şi H.E. Suess, 1983).

BCU CLUJ CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

vârstele radiocarbon (convenționale), calculate pe baza măsurătorilor.

Aceste date și concluzii au făcut posibilă îmbunătățirea cronologiei radiocarbon doar a neoliticului și a epocilor ulterioare. Firește, ar fi fost foarte important (nu numai pentru perfecționarea cronologiei radiocarbon dar și pentru dezvăluirea mai temeinică a relațiilor existente între schimbările de climă și oscilațiile concentrației ^{14}C) să se afle cum s-au modificat valorile D ^{14}C în perioada glaciară târzie și în cea următoare, de încălzire, deci măcar în cursul paleoliticului superior și al mezoliticului. Este adevărat că, pe baza cronologiei varvelor sau cu ajutorul unor modele geofizice și geochimice, unii specialiști au încercat, încă în această etapă a cercetărilor, să extrapoleze în trecutul mai îndepărtat variațiile pe termen lung, schițate mai sus, ale concentrației ^{14}C, dar extinderea considerabilă a curbei de calibrare a devenit posibilă abia spre sfârșitul anilor '80 - începutul anilor '90 (vezi cap. 3.2.4.). .

Curba continuă, deja prezentată, alcătuită pe baza valorilor ^{14}C măsurate pe mostre de *Pinus aristata*, datate dendrocronologic, și care se întinde până către 6000 BC, a putut fi prelungită datorită seriei dendrocronologice flotante elaborate de B.Becker (Universitatea Hohenheim, Stuttgart, RFG) pe baza secțiunilor unor stejari vechi, crescuți în Germania, și datată prin măsurători radiocarbon comparative, efectuate pe mostre de lemn de proveniență americană și europeană. Se poate observa că până spre mijlocul/a doua jumătate a mileniului al VII-lea valorile D ^{14}C, rezultate din seria flotantă, urmăresc fidel flexiunea curbei sinusoide. În perioada anterioară însă, odată cu sfârșitul mileniului VII, porțiunea mai veche a seriei

dendrocronologice europene prezintă o însemnată deviere de la direcţia presupusă a curbei (vezi fig.15, zona anterioară anului 6000 BC a curbei). Nu este exclus ca această deviaţie bruscă să fie în legătură cu efectul ulterior al condiţiilor de mediu, dominante în perioada glaciară.

Aceste date, care indică o creştere a concentraţiei radiocarbon, sunt în concordanţă cu rezultatele măsurătorilor ^{14}C, efectuate de M. Stuiver pe substanţele organice prelevate din mostrele obţinute prin foraj, provenind din straturile, formate probabil anual, ale sedimentelor de pe fundul lacului Clouds (Lake of Clouds, Minnesota, SUA). Potrivit acestor rezultate, până către anul 8000 BC (data până la care mostrele au stat la dispoziţie) excedentul de radiocarbon a crescut până la cca 10%. (În legătură cu aceste observaţii, ca şi pentru cele ale lui Tauber, Vogel, Yang şi Fairhall, la care ne vom referi mai jos, vezi fig.16).

Sunt diametral opuse acestor rezultate evaluările lui H.Tauber, bazate pe cronologia varvelor din Scandinavia. Valoarea corespunzătoare pentru perioada din jurul anului 4300 BC este încă în concordanţă cu creşterea concentraţiei ^{14}C, semnalată mai sus, dar datele privitoare la mijlocul mileniului al VI-lea indică deja o scădere însemnată a nivelului C-14, scădere ce continuă până către 6500 BC. După această dată şi până spre 10000 BC se instalează în concentraţia de radiocarbon o scădere durabilă de cca 3%, ceea ce dă naştere la o eroare (negativă) de vârstă de aproximativ 250 de ani.

Concluziile lui Tauber sunt, în parte, confirmate de observaţiile lui J.C. Vogel, făcute pe varvele de la Faulensee din Elveţia. Potrivit graficului său, după maximul din jurul anului

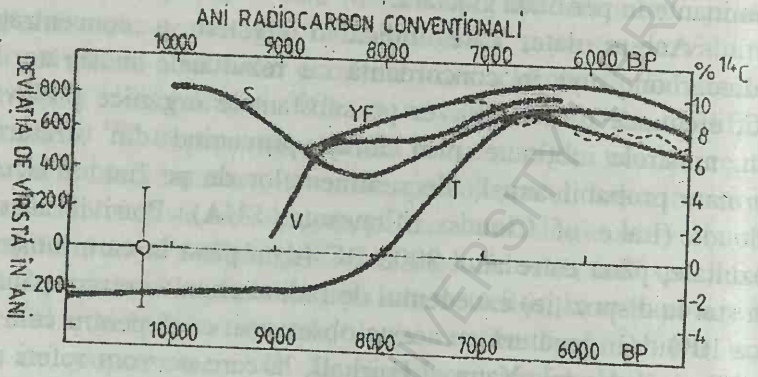


Fig. 16. Evaluări ale deviației în conținutul ^{14}C al atmosferei între 5000 și 11000 BP, bazate pe cronologia varvelor. Linia întreruptă face parte din curba derivată din datele dendrocronologiei (Suess, 1970). T: Tauber (1970), Scandinavia; S: Stuiver (1970), Lake of Clouds, Minnesota, SUA; V: Vogel (1970), Faulensee, Elveția; YF: Yang și Fairhall (1971), Saanish Inlet, British Columbia, Canada. (După M. Bruns, M. Rhein, T. W. Linick și H. E. Suess, 1983).

BCU CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

5000 BC concentrația ^{14}C prezintă o tendință treptată de scădere, ca apoi, între 6500 și 7000, să coboare brusc. În sfârșit, observațiile făcute de A.E.C. Yang și A.W. Fairhall pe sedimentele marine ale Golfului Saanich (British Columbia, Canada) nu permit formularea unor concluzii clare. Căci, pe de o parte, datele care privesc perioada posterioară anului 7000 BC sunt în concordanță cu valorile ^{14}C măsurate pe mostrele de *Pinus aristata*, iar, pe de altă parte, conform aceloraşi investigații, în perioada anterioară mileniului al VII-lea concentrația ^{14}C excedentară a scăzut considerabil, după cum rezultă și din studiul varvelor scandinave.

Rezultă din cele expuse mai sus că variațiile pe termen lung ale concentrației ^{14}C au putut fi reconstituite, în această etapă, numai pentru ultimii 8000-8500 de ani pe baza măsurătorilor ^{14}C efectuate pe seriile continue de inele ale pinului țepos, datate dendrocronologic, și că datele radiocarbon convenționale au putut fi transformate în date calendaristice numai în acest interval de timp. Cu alte cuvinte, au putut fi "calibrate" numai datele ^{14}C privitoare la perioada ce începe cu sfârșitul mezoliticului și cu neoliticul timpuriu. Trendul general al variației concentrației de ^{14}C ce caracterizează mileniile VII-X BC nu reieșea cu claritate din datele ce stăteau atunci la dispoziție și, în mod deosebit, dădea de gândit contradicția existentă între rezultatele seriilor de măsurători efectuate pe varvele din Scandinavia, respectiv nord-americane (Lake of Clouds). În legătură cu concentrațiile ^{14}C ale epocilor și mai îndepărtate - din lipsa unor mostre precis datate cu procedee independente de metoda radiocarbon - abia dacă dispuneam de informații. O alternativă de datare pentru ultimii 30-40000 ani ar putea constitui metoda termoluminescenței. Precizia acesteia

este departe de precizia dendrocronologiei, dar ea ne stă la dispoziție, și astăzi multe laboratoare de radiocarbon sunt interesate și în datarea prin metoda termiluminescenței. Dacă aceste cercetări, însoțite de măsurători arheomagnetice, devin mai ample și sistematice, putem fi încrezători că, până la urmă, vom fi în măsură să reconstituim trendul general al oscilațiilor nivelului C-14 și în trecutul mai îndepărtat, pentru care nu există mostre de lemn de vârstă cunoscută.

Cauzele oscilațiilor concentrației ^{14}C atmosferice nu au putut fi stabilite, deocamdată, cu toată certitudinea. Întrucât, după toate indiciile, dezintegrarea radioactivă se desfășoară uniform, oscilațiile nivelului C-14 sunt puse în legătură cu schimbările vitezei de formare a radiocarbonului. Dar, mergând mai departe: care sunt cauzele acestor schimbări, care este rolul diferiților factori terestri și cosmici? În urma măsurătorilor efectuate pe radioizotopii din meteoriți și roci lunare s-a conchis că fluxul radiației cosmice (ceea ce, în cazul nostru, nu putea fi influențat de câmpul geomagnetic), în cadrul anumitor limite, a fost constant în cursul ultimilor 500.000 de ani. Cauza cea mai plauzibilă a oscilațiilor pe termen lung ale concentrației ^{14}C constă, astfel, în viziunea celor mai mulți specialiști, în schimbările, de aceeași periodicitate, a câmpului magnetic terestru. Cercetările din domeniul arheomagnetismului au arătat că, în cursul mileniilor trecute, în intensitatea câmpului magnetic terestru au avut loc schimbări importante, desfășurate ciclic. Primele cercetări de acest fel au fost efectuate de W. Elasser, E.P.Ney și J.R. Winckler (1956), urmate de cele ale lui R. Ramaty, respectiv R.E. Lingenfelter și R. Ramaty (1967, 1970). Sunt deosebit de instructive observațiile specialistului ceh V. Bucha cu privire la magnetismul terestru din ultimii 9000

de ani, potrivit cărora, în cursul acestei perioade, variațiile momentului magnetic se apropie de o funcție sinusoidă, valorile corespunzătoare acesteia fiind în concordanță cu rezultatele măsurătorilor efectuate pe seriile de inele ale arborelui *Pinus aristata*, referitoare la schimbările lente ale concentrației ^{14}C. (De fapt V. Bucha și E. Neustupný au arătat, încă în 1967, deci înaintea publicării rezultatelor calibrării dendrocronologice, influența schimbărilor câmpului geomagnetic asupra datărilor radiocarbon și, pe baza acestor observații, Neustupný a încercat, încă în 1968, să îndrepte cronologia radiocarbon a neoliticului și eneoliticului Europei Centrale.) Câmpul magnetic al Pământului reflectă aidoma unui scut protector o parte a razelor cosmice, influențând, în felul acesta, cuantumul radiației cosmice, pătrunsă în atmosferă, determinând producția de ^{14}C. Dacă intensitatea câmpului geomagnetic este mai mare, în atmosferă se formează o cantitate mai mică de C-14; în schimb, un câmp magnetic terestru mai slab are ca rezultat creșterea influenței radiației cosmice și, în felul acesta, accelerarea producerii carbonului-14, ridicarea concentrației ^{14}C atmosferice. În perioada 5500-3000 î.e.n., de pildă, când intensitatea câmpului geomagnetic a fost redusă, concentrația ^{14}C atmosferică era în creștere, iar între 1500 î.e.n. și 1000 e.n., când intensitatea câmpului magnetic al Pământului a fost însemnată, nivelul C-14 al atmosferei prezenta o tendință descrescătoare (vezi fig.17). Oricum, pentru o mai bună cunoaștere a problemelor schițate mai sus, sunt necesare date noi și mai detaliate de arheomagnetism. Pe de altă parte, trebuie să avem în vedere

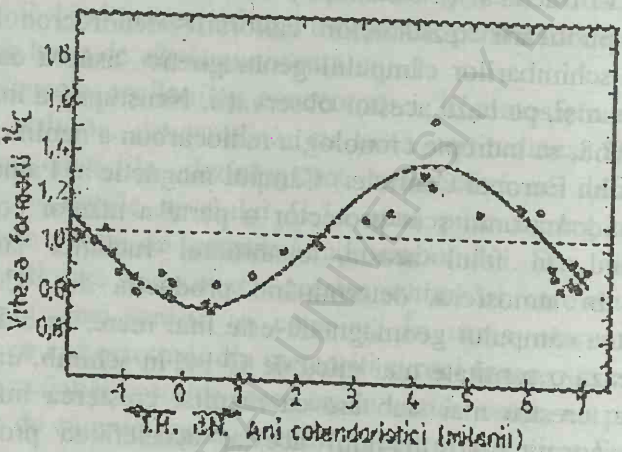


Fig. 17. Reprezentarea sinusoidală a vitezei formării ^{14}C (Q), pe baza valorilor momentului geomagnetic, stabilite de V. Bucha (1970). (După M.J. Aitken, 1974).

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

faptul că şi alţi factori puteau să influenţeze variaţiile pe termen lung ale concentraţiei ^{14}C.

3.1.2.2.2. Trendul general al oscilaţiilor concentraţiei ^{14}C atmosferice nu se prezintă, în realitate, sub forma unei linii sinusoide ondulată regulat. Această tendinţă este doar indicată de seria liniilor crescătoare şi descrescătoare, semne ale unor oscilaţii de mai scurtă periodicitate. Deci, pe procesul lent de schimbare a concentraţiei radiocarbon se proiectează parcă *oscilaţiile pe termen mijlociu*, acele fluctuaţii manifestate în schimbările rapide de direcţie, în cotiturile neregulate şi imprevizibile între punctele de măsurare care au fost evidenţiate pentru prima dată de curba lui Suess (vezi figurile 13A, 15) şi care sunt numite până astăzi în literatura de specialitate drept "zigzagurile lui Suess" *(Suess wiggless)*. Periodicitatea acestor fluctuaţii relativ rapide este de ordinul a sute de ani, cu o amplitutine de cca 300 de ani.

Zigzagurile lui Suess, conturate în urma măsurătorilor ^{14}C, efectuate pe seriile de inele de creştere ale *Pinus aristata*, au generat multe discuţii. În comunicarea lor, prezentată la cel de al XII-lea Simpozion Nobel din 1969, W.G.Mook şi J.C.Vogel au confirmat faptul că cele două "vârfuri", ce apar în jurul anilor 1500 şi 1700 AD, pot fi demonstrate cu certitudine în inelele copacilor crescuţi în diferite zone ale globului, ceea ce dovedeşte nu numai realitatea oscilaţiilor, dar şi simultaneitatea lor, indiferent de latitudinea geografică. În anul următor, R. Berger şi J.H. Fletcher au ajuns la o concluzie similară în studiile lor privind aplicarea datării radiocarbon în arheologia medievală.

În anii următori câteva laboratoare (Seattle, Groningen, Belfast, Heidelberg) au reușit să construiască instalații, cu care au obținut datări mult mai precise decât obișnuita deviație standard de ±40 de ani. Rezultatele acestor măsurători de precizie, date publicității la sfârșitul anilor '70 - la începutul anilor '80 au dovedit neîndoielnic că urmele variațiilor pe termen mijlociu ale concentrației ^{14}C, s-au înregistrat în inelele copacilor crescuți atât în Lumea Veche cât și în Lumea Nouă. În rândul acestor investigații sunt remarcabile mai ales cele efectuate de H. Stuiver (Seattle) pe inelele unor copaci nord-americani, crescuți între 1 și 1950 AD, de G.W.Pearson (Belfast) pe exemplarele de stejar palustru *(Quercus palustris)*, crescute în Irlanda, databile între 200 și 4000 BC, de A.F.M. de Jong (Groningen) și M. Bruns (Heidelberg) pe mostre de stejar din sudul Germaniei, aparținând unor serii dendrocronologice cuprinse între 3800 și 3200, respectiv anterioare anului 4000 BC, investigații care au făcut posibilă alcătuirea unor curbe de calibrare detaliate, mult mai precise decât predecesoarele lor "de prima generație". A fost deosebit de importantă constatarea că rezultatele măsurătorilor efectuate pe seriile de inele ale stejarului european, reprezentate grafic, repetă, în general, chiar și în detalii, "zigzagurile lui Suess" ale seriei *Pinus aristata*. Acest fapt a confirmat caracterul universal (sau, cel puțin, valabilitatea pentru emisfera nordică) a fluctuațiilor pe termen mijlociu ale concentrației ^{14}C, întipărite în inelele de creștere ale copacilor, fenomen ce a înlesnit și fixarea seriilor dendrocronologice europene flotante, prin compararea-potrivirea curbelor de calibrare.

Descoperirea zigzagurilor lui Suess a stârnit o îndreptățită alarmă în rândurile arheologilor și, în același timp, a oferit o explicație acceptabilă la acele contradicții, sau cel puțin la unele dintre acestea, care au putut fi remarcate, nu o dată, între cronologia relativă, îndeobște sigură, bazată pe observațiile stratigrafice și cronologia radiocarbon, contradicții asupra cărora unii specialiști în Preistorie, printre care și reputatul profesor Vladimir Milojcic, au atras atenția încă în anii '50. Într-adevăr, creșterea sau scăderea bruscă a concentrației ^{14}C poate cauza inversia scalei timpului radiocarbon: este posibil ca pe o mostră mai timpurie să se măsoare o vârstă ^{14}C mai recentă decât pe o mostră mai târzie, sau, invers, o mostră mai nouă să aibă o vârstă C-14 mai "înaltă" decât o probă mai veche. Din aceleași cauze se poate întâmpla ca în cadrul unei perioade ("istorice") reale de numai câteva decenii să se ivească o diferență de vârstă radiocarbon de câteva secole. De pildă, potrivit măsurătorilor lui De Jong, în cursul intervalului de 50 de ani, între 3400 și 3350 BC, vârsta ^{14}C a mostrelor a scăzut cu cca 250 de ani radiocarbon! Apoi: tocmai fluctuațiile relativ bruște ale concentrației C-14 fac imposibilă corecția precisă a scalei timpului radiocarbon, transformarea fără echivoc a datelor ^{14}C în date calendaristice. În cazul unui proces de schimbare lentă, regulată a concentrației ^{14}C, potrivirea datelor radiocarbon cu cele calendaristice - în principiu - nu ar prezenta o problemă. Este, însă, suficient să aruncăm o privire asupra oricăreia dintre curbele de calibrare ca să ne convingem că, din cauza oscilațiilor relativ bruște și mai mult sau mai puțin repetate ale concentrației ^{14}C, unei date radiocarbon convenționale, exprimate în ani BP, pot să-i corespundă mai multe date

calendaristice, respectiv, câte o dată radiocarbon (convenţională) poate fi echivalată cu un interval de timp calendaristic şi nu cu un singur an anume. Întrucât oscilaţiile pe termen mijlociu ale concentraţiei de ^{14}C sunt fenomene naturale reale, potrivit cunoştinţelor noastre actuale nu există nici cea mai palidă speranţă de a elimina, prin noi cercetări, erorile cronologiei radiocarbon datorate acestor fenomene.

Fluctuaţiile pe termen mijlociu ale concentraţiei de C-14 pot fi puse în legătură cu variaţiile vitezei de formare a radiocarbonului (ceea ce, după W.G.Mook, este de cca 4% la intervale de aproximativ 160 de ani). Aceste fluctuaţii de perioadă mai scurtă pot fi explicate cu schimbările constatate în activitatea solară (petrecute paralel cu schimbările intensităţii câmpului magnetic terestru, dar fără a exista, neapărat, vreo corelaţie între ele); şi anume prin faptul că radiaţia cosmică pătrunsă în atmosferă este influenţată şi de câmpurile magnetice, izvorâte din activitatea solară. Prin urmare, fluctuaţiile relativ rapide ale concentraţiei ^{14}C, provocând apariţia "zigzagurilor lui Suess", care au pricinuit atât de multă bătaie de cap arheologilor sunt cauzate - potrivit opiniei celei mai îmbrăţişate în zilele noastre - de modulaţia heliomagnetică a fluxului radiaţiei cosmice galactice, determinând formarea carbonului-14 atmosferic. În ceea ce priveşte rolul factorilor geo- şi heliomagnetici în aceste variaţii, M.J.Aitken atrage atenţia asupra faptului că - după mărturia curbelor de calibrare - oscilaţiile de mai scurtă durată sunt mai reduse în acele perioade, în care a crescut intensitatea câmpului geomagnetic. Specialistul englez explică acest fenomen prin influenţa heliomagnetismului asupra razelor cosmice cu energie redusă,

iar în momentele creşterii intensităţii câmpului geomagnetic, aceste raze sunt deviate din atmosfera terestră.

3.1.2.2.3. În nivelul concentraţiei ^{14}C atmosferice au fost demonstrate şi *fluctuaţii de scurtă durată*, care pot fi puse în legătură cu ciclul solar de 11 ani, mai exact cu maximele de pete solare ce se repetă, în general, din 11 în 11 ani (vezi fig.18). Totuşi, rolul acestui fenomen este încă departe de a fi unanim evaluată.

Activitatea petelor solare este observată sistematic abia din anul 1840, la Zürich existând totuşi însemnări cu privire la acest fenomen încă din 1700. Pe baza datelor păstrate despre aurora boreală şi despre erupţiile solare s-au făcut evaluări retroactive până la 300 d.H. şi, cu o siguranţă mai redusă, studiul fenomenului a fost extins până în secolul al VII-lea î.H. (Despre ciclul petelor solare, în intervalul cuprins între 649 î.H. şi 2000 d.H., dispunem de studiul de sinteză al lui D.J.Sehove, elaborat în 1955). Potrivit observaţiilor, în secolele cu soţ activitatea solară a fost mai accentuată decât în cele impare, ceea ce indică o periodicitate de 200 de ani a amplitudinii ciclului. Importanţa acestui fenomen natural din punctul de vedere al datării radiocarbon constă în faptul că, după toate presupunerile, în perioadele de activitate solară accentuată se intensifică spaţiul magnetic slab interplanetar, dar creşte şi intensitatea câmpului geomagnetic, ceea ce oferă o protecţie mai eficientă împotriva radiaţiei cosmice, îndreptată spre atmosfera Pământului, determinând în mod direct formarea carbonului-14.

Deviaţiile dintre vârsta calendaristică şi scala timpului radiocarbon, puse pe seama activităţii solare, au fost demonstrate pentru prima dată de M. Stuiver (1961), pe baza

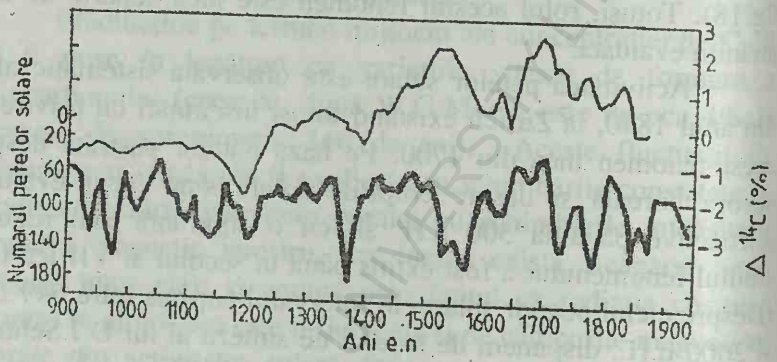


Fig. 18. Compararea variației concentrației ^{14}C atmosferice (curba de sus) și a activității solare (curba de jos). Activitatea solară este exprimată prin numărul estimat al petelor solare în maximul ciclurilor de 11 ani. Scalele verticale au sensul opus pentru a ilustra că după perioadele lungi, cu activitate solară redusă, concentrația crește, și invers. (După Houtermans, Suess și Munk, 1967, *apud* M. J. Aitken, 1974).

concentrația ^{14}C atmosferică a scăzut considerabil. În studiul lor, în care au examinat fluctuațiile concentrației ^{14}C atmosferice care au avut loc în cursul secolului trecut, M.S.Baxter și A.Walton (1971) au adus noi argumente cu privire la existența legăturii între ciclul solar și fluctuațiile concentrației de C-14. Pentru măsurarea ^{14}C au folosit materiale în cazul cărora se cunoștea exact anul formării conținutului de carbon al mostrei (whisky, vin, boabe de cereale, semințe, lână). Potrivit concluziilor lor, mărimea oscilațiilor poate atinge 3%, ceea ce corespunde unei deviații de vârstă de 240 ani.

Ulterior, Baxter, în colaborare cu J.G.Farmer (1972), au studiat trendul pe termen scurt al oscilațiilor naturale ale concentrației ^{14}C pe inelele măsurate unul câte unul ale unor arbori crescuți în diferite regiuni ale lumii. Pe inelele formate între 1829 și 1965 d.H. ale unui stejar crescut în Marea Britanie, autorii au constatat variații apropiate de cele menționate mai sus (cu o amplitudine de 1-2%), variații ce puteau fi puse în legătură cu ciclul solar de 11 ani. Pe de altă parte, rezultatele măsurătorilor efectuate pe inelele formate între 1910 și 1950 d.H. ale unui pin neozeelandez nu au confirmat existența unor asemenea corelații. Întrucât toate mostrele indicând oscilațiile de 1-3% proveneau din spațiul Marei Britanii, autorii nu exclud posibilitatea ca și latitudinea geografică să aibă un anumit rol în desfășurarea procesului studiat. (Este vorba de fenomenul, menționat deja în legătură cu fracționarea izotopului și cu efectul de rezervor, în virtutea căruia, în emisfera sudică, datorită întinderii considerabil mai mari a suprafeței oceanelor, concentrația ^{14}C a atmosferei este ceva mai scăzută, în comparație cu regiunile aflate la nord de ecuator.)

În studiul lor, referitor la magnitudinea ciclului radiocarbon de 11 ani, P.E. Damon, A. Long și E.J. Wallick (1973) au prezentat rezultatele măsurătorilor lor, efectuate pe inelele unei zade (*Larix decidua*), crescută în munții Arizonei (SUA). După opinia autorilor, cu toate că variațiile nivelului C-14 prezintă anumite legături cu ciclul de 11 ani, fluctuațiile sunt neînsemnate. Comentând acest articol (în același număr al aceleiași reviste), Baxter, Farmer și Walton au rezumat din nou argumentele ce vin în sprijinul punctului lor de vedere și care contrazic concluziile lui Damon și colaboratorii săi.

Analizând aceste păreri contradictorii, M.J. Aitken (1974) conchide că, în cazul determinărilor cronologice radiocarbon în arheologie, la datarea mostrelor formate într-un singur an, putem să avem în vedere o eroare de ±120 de ani.

Studiile publicate la sfârșitul anilor '70 și în anii '80 (avem în vedere, înainte de toate, cercetările lui M. Stuiver, efectuate în scopul calibrării datelor radiocarbon privitoare la perioada 1-1950 AD, precum și investigațiile lui P.P. Tans de la Groningen) ne îndreptățesc să afirmăm că măsurătorile mai noi, de precizie, efectuate pe inele datate dendrocronologic, au confirmat corelația existentă între ciclul solar de 11 ani și fluctuațiile bruște ale nivelului ^{14}C atmosferice, dar mărimea acestor oscilații pare a fi mult mai mică, decât se credea anterior. Amplitudinea variațiilor este evaluată acum la 1-3 ‰, ceea ce corespunde unei deviații de vârstă de 8-24 de ani. Aceste concluzii sunt, fără îndoială, încurajatoare pentru arheologi, mai ales atunci când este vorba de datarea unor boabe, semințe sau alte materiale, formate într-un an.

3.1.2.2.4. *Alţi factori determinanţi ai variaţiilor de concentraţie* ^{14}C. Cercetând cauzele variaţiilor naturale ale concentraţiei C-14 atmosferice, alături cei menţionaţi mai sus, au fost luate în consideraţie şi alţi factori. În ceea ce priveşte activitatea solară, nu poate fi neglijat rolul erupţiilor solare. Conform evaluărilor, cu ocazia unui asemenea eveniment (din cauza cantităţii de ^{14}C, produsă de particulele lansate din masa soarelui) concentraţia de radiocarbon atmosferic poate să crească cu 1%. Este posibil, astfel, ca o parte a creşterilor subite, de scurtă durată a concentraţiei ^{14}C, demonstrate prin măsurătorile efectuate pe inelele copacilor, să se datoreze erupţiilor solare. Consecinţe asemănătoare pot avea şi exploziile de supernove. Producţia de ^{14}C poate fi stimulată şi de neutronii produşi în cursul fulgerărilor, în literatura de specialitate fiind pusă în discuţie şi influenţa posibilă a unor fenomene viu disputate, cum ar fi , de exemplu, meteorul Tunguz. A fost cercetat şi rolul condiţiilor climaterice, deoarece schimbările de climă influenţează rata schimbului între cele două "rezervoare" principale ale carbonului-14, atmosfera şi oceanul, şi, în acest fel, concentraţia ^{14}C a atmosferei. Întrucât s-a observat o corelaţie între intensitatea geomagnetică şi activitatea solară, pe de o parte, şi climatul, pe de altă parte, au fost formulate şi ipoteze, potrivit cărora geo- şi heliomagnetismul influenţează variaţiile concentraţiei C-14 nu (sau nu numai) în mod direct ci prin (sau şi prin) acţiunea exercitată asupra climei. Menţionăm, în sfârşit, ipoteza, conform căreia concentraţia excedentară de lungă durată, măsurată pe inelele *Pinus aristata*, s-ar datora producerii *in situ* a carbonului-14 din azotul-14, existent în materialul lemnos. Fenomenul ar fi cauzat de faptul că pinii

țepoși, viețuind la o altitudine de 3000 m, sunt mult mai expuși influenței radiației cosmice (ca și a fulgerărilor). Totuși, nu se poate să nu ne dea de gândit faptul că datele publicate despre conținutul în azot al lemnului de *Pinus aristata* sunt foarte diferite (între 0,05% și 8,5%)! Nu poate fi neglijată nici împrejurarea că presupusul carbon, format *in situ*, nu este asimilat în mod necesar în moleculele ce alcătuiesc structura de celuloză a lemnului. Cu ocazia acelor experiențe, în cursul cărora copacii au fost radiați artificial cu neutroni, nu s-a putut demonstra formarea unei cantități măsurabile de ^{14}C. Cu toate acestea, având în vedere condițiile ecologice speciale ale dezvoltării pinului țepos, unii specialiști din domeniul cercetărilor radiocarbon și-au exprimat părerea, potrivit căreia calibrarea prin *Pinus aristata* nu poate fi extinsă cu deplină siguranță asupra tuturor regiunilor ale lumii. H.E.Suess, într-un studiu publicat în 1970, se referea, de pildă, la o comunicare a profesorului D.Lal, care era convins că poate fi avută în vedere formarea *in situ* a carbonului-14 în inelele pinului țepos, crescut la o altitudine de 3000 m. La rândul său. Christian Strahm a atras atenția asupra faptului că o comparare a conținutului ^{14}C al copacilor europeni și americani poate să ducă la rezultate acceptabile numai în cazul în care se va dovedi că formarea inelelor pinului țepos a avut loc în mod regulat, în ciuda condițiilor extreme de creștere ale acestei specii și dacă, într-adevăr, nu a avut loc nici un schimb de carbon între țesuturile vii și cele moarte ale acestui arbore.

Prin urmare, cercetând cauzele care au generat variațiile concentrației ^{14}C trebuie să avem în vedere nu numai influențele directe, indiscutabile, ale diferitelor fenomene,

terestre şi cosmice, ci şi interacţiunea complexă, în cea mai mare parte încă nelămurită pe deplin, a acestor fenomene.

3.1.2.2.5. *În loc de concluzii:* este evident că în cursul ultimelor decenii au fost obţinute, prin colaborare internaţională şi cercetări interdisciplinare, însemnate rezultate, atât pentru ştiinţele naturii cât şi pentru arheologie, în cunoaşterea variaţiilor în timp ale concentraţiei carbonului-14 atmosferic. Pentru arheologie concluzia cea mai importantă, deloc încurajatoare, a fost aceea că - potrivit mărturiei măsuratorilor efectuate pe seriile de inele, datate prin metoda dendrocronologiei - pe trendul general, mai mult sau mai puţin regulat, al variaţiilor seculare ale concentraţiei ^{14}C, se proiectează acele fluctuaţii bruste, pe termen mijlociu şi scurt, care îngreuiază în mare măsură stabilirea concordanţei între datele radiocarbon şi datele calendaristice. Este încurajatoare, pe de altă parte, concluzia - la care s-a ajuns, de asemenea, în urma măsurătorilor efectuate pe inelele datate dendro- cronologic - potrivit căreia variaţiile concentraţiei ^{14}C au fost, pe tot globul, simultane şi cu aceeaşi amplitudine. (Constituie o excepţie, poate, oscilaţiile de 11 ani, şi există mica diferenţă, deja menţionată, constatată între concentraţia ^{14}C a emisferei nordice şi sudice.) După cum a demonstrat H. Tauber, nici din modelul de distribuire a radiocarbonului rezultat în urma experienţelor nucleare nu poate fi dedusă existenţa vreunui efect latitudinal. Pentru lămurirea acestor probleme, fundamentale pentru arheologie, au devenit extrem de utile acele cercetări mai recente, care au vizat, înainte de toate, extinderea studiului comparativ al valorilor ^{14}C, măsurate pe inelele datate dendrocronologic ale pinului ţepos şi

ale altor arbori, crescuți în alte zone ale pământului, în alte condiții de mediu.

3.2. *Transformarea datelor radiocarbon în date calendaristice*

3.2.1. *Introducere.* Datorită variațiilor naturale ale concentrației C-14, vârsta stabilită în urma măsurătorilor directe, efectuate pe mostre, exprimată în ani - radiocarbon, se deosebește de vârsta reală, socotită în ani calendaristici. Corectarea acestei imperfecțiuni a datelor radiocarbon presupune îndeplinirea a două condiții fundamentale. Prima dintre acestea este, evident, în legătură cu însăși data radiocarbon convențională care urmează a fi calibrată; rezultatul final este determinat în mod decisiv de calitatea acesteia (avem în vedere integritatea și pretratarea mostrei, precizia măsurării etc.). O cerință esențială este și evaluarea marjei de eroare reală a datelor ^{14}C inițiale. În al doilea rând este necesară realizarea legăturii funcționale între vârsta radiocarbon și cea calendaristică, corelarea celor două scale ale timpului, inclusiv evaluarea minuțioasă a erorilor rezultate din această operație. Cea de a doua condiție a putut fi îndeplinită mai ales prin măsurarea/datarea radiocarbon a unor serii de inele datate dendrodronologic (deci, practic, în anii calendaristici).

Corelarea celor două scale ale timpului, recalcularea datelor radiocarbon este complicată de existența "zigzagurilor lui Suess", de variațiile pe termen mijlociu și scurt ale concentrației ^{14}C; din această cauză câte o dată radiocarbon convențională, exprimată în ani BP, poate fi echivalentă cu câte

o secvență sau chiar cu mai multe secvențe posibile ale scalei de timp dendrocronologice și, cu rare excepții, nu cu un singur punct al acesteia (altfel spus, nu cu un anumit an calendaristic). Întinderea acestei secvențe (adică domeniul de timp corespunzător mostrei, exprimat în ani calendaristici) este determinată, pe de o parte, de precizia datei ^{14}C originale, convențională (marja ei de eroare), iar pe de altă parte de fluctuațiile concentrației de C-14, caracteristice perioadei respective (deci configurația secvenței corespunzătoare a curbei, tendința sa coborâtoare, orizontală, crescătoare ori brusc oscilantă). Intervalul de timp, stabilit în urma corecției ca reprezentând vârsta "reală" a mostrei, este, de multe ori, mai larg în comparație cu limitele de eroare experimentale ale vârstei ^{14}C, măsurată inițial. La urma urmei calibrarea amplifică, deci, posibilitățile de eroare, ascunse oricum în datarea radiocarbon. Este, deci, demn de luare aminte recomandarea specialiștilor în metoda radiocarbon (recomandare ignorată, ciudat, tocmai de unii cercetători ai Preistoriei) de a folosi în mod curent, și mai departe, pentru măsurarea timpului arheologic, datele ^{14}C convenționale și de a se recurge numai în cazuri bine motivate la datele calibrate.

Corelația ce poate fi stabilită pe cale experimentală între vârsta radiocarbon și vârsta reală (dendrocronologică) a fost interpretată în mod diferit, ceea ce a determinat alcătuirea a mai multor curbe de calibrare, ducând la rezultate diferite. Acest fapt a stârnit dezorientare printre utilizatorii curbelor și, înainte de toate, în rândurile arheologilor, care ar dori să știe, care este "cea mai indicată" dintre procedeele de corecție propuse. Ar fi greu să răspundem astăzi la această întrebare: fiecare curbă sau tabel își are avantajele și dezavantajele ei, astfel că nici chiar

procedeele de calibrare mai noi, bazate pe măsurători de precizie, analizate matematic, prin computer, nu pot fi considerate ca definitive. Vom încerca să ilustrăm prin exemple că materialul mostrelor (format în timp scurt sau mai îndelungat), vârsta (vechimea) lor, precizia măsurării (limitele marjei de eroare) pot constitui, printre altele, acei factori, care ar putea determina alegerea procedeului de calibrare de urmat. În vederea realizării unui sistem de calibrare de aplicabilitate generală, la conferința internațională de radiocarbon din 1979 s-a luat hotărârea ca prin coordonarea activității mai multor laboratoare eforturile să fie concentrate asupra re-măsurării cu mare precizie a seriilor de mostre ce au constituit baza curbei de calibrare și să re-evalueze, re-interpreteze rezultatele acestor măsurători. În finalul acestui capitol vom prezenta cele mai recente sisteme de corecție, elaborate începând cu mijlocul anilor '80 și recomandate pe plan internațional.

3.2.2. *Primele curbe de calibrare,* după cum am menționat deja, au fost elaborate în laboratoarele radiocarbon ale universităților California, Arizona și Pennsylvania, pe baza măsurătorilor C-14 efectuate pe seria de inele de *Pinus aristata,* pusă la dispoziție de C.W. Ferguson. Aceste curbe, sunt ilustrate prin fig. 13, care prezintă direct deviația vârstei radiocarbon de vârsta reală, stabilită prin dendrocronologie: axa orizontală marchează perioada, exprimată în ani calendaristici, cuprinsă între 6000 BC și 2000 AD, iar axa verticală arată, cu câți ani este mai recentă vârsta radiocarbon, în comparație cu vârsta reală.

3.2.2.1. Dintre cele trei variante, prima a fost publicată de H.E. Suess (1967, 1970). Procedeul său de corecție a fost ulterior descris mai detaliat, datele fiind prezentate și sub formă de tabele. *Curba lui Suess*, devenită deja clasică, se bazează exclusiv pe rezultatele experimentale obținute în laboratorul La Jolla (California); punctele marcând datele ^{14}C măsurate sunt legate pe această curbă cu mâna liberă. Dintre cele trei curbe menționate, pe aceasta pot fi observate cele mai multe fluctuații pe termen mijlociu și scurt și, din acest motiv, unii specialiști au considerat că, în scopurile arheologiei, tocmai această curbă ar face posibilă corecția cea mai apropiată de realitate a datelor ^{14}C convenționale.

Pentru a ilustra calibrarea efectuată prin metoda lui Suess, vom prezenta, după V.R. Switsur și D.H.Trump, datele radiocarbon, convenționale și corectate, obținute pe mostrele de cărbune, colectate în cursul săpăturilor arheologice efectuate în anii 1979-1980 în peștera numită Grotta Filiestru din Sardinia. Aici, într-un strat de cultură gros de 3 m, se succed nivelurile de locuire ale următoarelor șase culturi preistorice: 1. ceramica cardială; 2. Filiestru (neolitic timpuriu); 3. Bonu Ighinu (neolitic mijlociu); 4. Ozieri (neolitic târziu); 5. Bonnanaro (epoca aramei - epoca timpurie a bronzului, cu ceramică de "import", caracteristică culturii vaselor campaniforme); 6. faza timpurie a culturii Nuraghe (cultură aparținând epocii târzii a bronzului, caracterizată prin construcții, turnuri mai ales, numite nuraghe, ridicate din blocuri mari de piatră, fără material liant). Datele radiocarbon se referă la aceste șase culturi, respectiv niveluri de locuire, pe care le vom desemna în tabelul ce urmează doar prin cifrele înscrise în prima coloană. Din economie de spațiu, am omis și numărul de laborator al mostrelor. Datările au fost

efectuate în laboratorul de la Cambridge (Anglia), prin metoda scintilației lichidului, aplicând timpul de înjumătățire de 5568 ani.

Nivel	Data BP	Data b.c. (BP - 1950)	Data calibrată, BC
1	6710 ± 75	4760	Începutul și mijlocul mileniului VI BC
	6615 ± 75	4665	
	6515 ± 65	4566	
	6470 ± 65	4520	
2	6120 ± 55	4170	5330 - 4990
	5900 ± 50	3950	4940 - 4790
3	5625 ± 65	3675	4550 - 4460
4	5250 ± 60	3300	4240 - 4090
	4950 ± 50	3000	3870 - 3710
5	4430 ± 50	2480	3340
	3805 ± 40	1855	2440 - 2360
6	3440 ± 40	1490	1950 - 1920

Această succesiune a culturilor este, deocamdată, unică în Sardinia, și seria de date radiocarbon corespunzătoare, prezentată aici, constituie, în opinia autorilor citați, baza cronologiei preistorice a insulei.

3.2.2.2. *Procedeul de corecție MASCA.* Spre deosebire de metoda lui Suess, care și-a alcătuit curba legând direct

punctele sale de măsurare, reprezentanţii celorlalte două laboratoare şi-au realizat curbele de calibrare prin metode matematice, prin calcularea unor medii ale datelor obţinute de ei. Au sperat ca, în felul acesta, iregularităţile reale ale curbei, izvorâte din fluctuaţiile concentraţiei ^{14}C, vor fi mai puţin influenţate de anumite erori accidentale. Pe lângă rezultatele lor proprii de măsurare, E.K. Ralph, H.N. Michael şi M.C. Han, de la laboratorul Universităţii din Philadelphia (Pennsylvania, SUA), au folosit şi datele laboratoarelor de radiocarbon din California (La Jolla) şi Arizona. În felul acesta, procedeul lor, publicat în 1973, însumează, într-o anumită măsură, rezultatele disponibile la acea oră, obţinute pe baza investigării seriei dendrocronologice de *Pinus aristata*. Procedeul a început să fie aplicat pe o scară relativ largă, mulţi specialişti considerându-l ca cea mai perfectă dintre metodele de calibrare provizorii, elaborate în anii '70. Pentru evitarea erorilor accidentale, în alcătuirea curbei lor, ce se referă la intervalul cuprins între 5383 BC şi 1849 AD, echipa lui Ralph a recurs la calcularea şi utilizarea ca puncte de referinţă a valorilor medii ale unor secvenţe de nouă mostre. În acest fel, deviaţia standard a punctelor s-a redus la ± 13 ani, ceea ce reprezintă o valoare mult mai mică în comparaţie cu amplitudinea oscilaţiilor. În fig. 19 prezentăm un fragment al curbei, pe care fiecare punct reprezintă media flotantă ponderată, corespunzătoare vârstei ^{14}C, măsurată pe câte nouă mostre învecinate. Graficul exprimă corelaţia între datele radiocarbon, stabilite pe baza timpului de înjumătăţire de 5730 ani şi datele dendrocronologice. Devierea vârstei radiocarbon de la scala reală a timpului, conform curbei lui Ralph, poate fi observată şi pe fig.13B. Comparând această

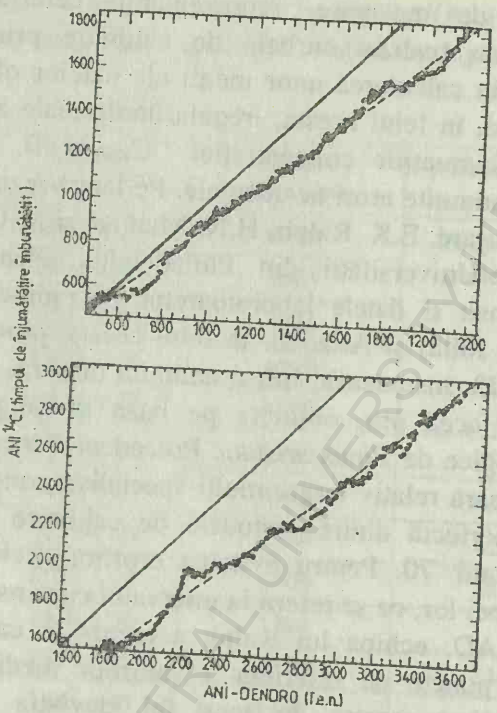


Fig.19. O porțiune a curbei de calibrare elaborată de E.K. Ralph și colab. ("procedeul de corecție MASCA"). În grafic: datele radiocarbon (500-3000 BP), determinate pe baza timpului de înjumătățire îmbunătățit, în corelație cu datele dendrocronologiei (500-3700 BC). Cerculețele indică mediile ponderate ale mostrelor reprezentând câte un interval de nouă ani. Linia întreruptă marchează polinomul ce corespunde cel mai bine valorilor reprezentate de punctele (cerculețele) curbei. (După M.J. Aitken, 1974).

curbă cu cea a lui Suess, se poate remarca cu uşurinţă că oscilaţiile de mai scurtă durată sunt evidente şi în acest caz, dar operarea cu valori medii a estompat, "a netezit" în mod vădit zigzagurile lui Suess. Ralph şi colaboratorii săi au calculat şi polinomul ce corespunde cel mai bine valorilor marcate de punctele curbei, exprimând trendul general, de aspect sinusoid, al fluctuaţiilor (fig.13C) Pentru a uşura operaţiunea calibrării, a fost întocmit şi un tabel de transformare a datelor, cuprinzând şi deviaţiile standard. Pentru desemnarea curbei şi tabelului de calibrare se foloseşte denumirea de *factori de corecţie MASCA*. (MASCA: *M*useums *A*pplied *S*cience *C*entre for *A*rchaeology, adică Centrul de Ştiinţe Aplicate pentru Arheologie al Muzeului Universităţii Pennsylvania). În vederea transformării datelor radiocarbon în "date-dendro" (echivalente, în fond, anilor calendaristici) au fost definite trei categorii, în funcţie de tendinţa crescătoare/coborâtoare, orizontală ori în formă de zigzag a secvenţei corespunzătoare a curbei de calibrare. În cazul încrucişării (*crossing*), unei date radiocarbon îi corespunde o singură dată calendaristică. Atunci când datei radiocarbon îi corespunde o porţiune orizontală a curbei, acea dată poate fi echivalată cu un interval mai mult sau mai puţin lung de ani calendaristici (*span*). În cel de al treilea caz, aceleiaşi date radiocarbon îi corespund mai multe date calendaristice, în interiorul unui domeniu de timp (*range*). De pildă, datei radiocarbon 270 BP (1680 AD, folosind timpul de înjumătăţire de 5730 ani) îi corespund datele calendaristice de 1610 şi 1530 AD. În consecinţă, tabelul de corecţie indică pentru această dată radiocarbon domeniul de timp cuprins între 1530 şi 1610 d.H.

Vom ilustra rezultatele calibrării efectuate cu metoda de

corecție MASCA cu datele radiocarbon ale trei situri, respectiv descoperiri de epoci diferite. Datarea ^{14}C a mormintelor din necropola de la Tiszapolgár - Basatanya, aparținând culturilor Tiszapolgár și Bodrogkeresztúr din epoca timpurie și mijlocie a aramei, este interesantă pentru noi și datorită faptului că urmele celor două culturi pot fi întâlnite și în Transilvania, mai mult chiar, legăturile lor sunt atestate și cu civilizațiile din afara arcului Carpaților. Oasele umane investigate provin din săpăturile d-nei Ida B. Kutzián, întreprinse în anul 1952. Măsurătorile au fost efectuate în laboratorul de radiocarbon de la Debrecen al Institutului de Cercetări Nucleare al Academiei Maghiare de Ştiințe, pe baza colagenului extras din oase. Datările au fost stabilite folosind timpul de înjumătățire de 5568 ani, cu deviația standard de 1s. Din tabelul de mai jos (pe care o reproducem după Éva Csongor) am omis numărul de laborator al mostrelor. Autoarea atrage atenția asupra locului special și a vârstei radiocarbon mult mai ridicate a mormântului nr.84 în cadrul cimitirului, ceea ce pledează pentru apartenența epocii neolitice a acestei înmormântări.

Nr. mormântului	Vârsta ^{14}C convențională în ani BP	Vârsta calibrată în ani BP (vârsta calibrată +1950)	Vârsta calibrată BC (în ani calendaristici)
1	2	3	4
84	5980 ± 200	6860 ± 200	4910 ± 220
5	5350 ± 190	6160 ± 220	4210 ± 220
23	5020 ± 180	5750 ± 200	3800 ± 200
28	5060 ± 170	5810 ± 190	3860 ± 190
41	5010 ± 180	5720 ± 200	3770 ± 200

1	2	3	4
120	5220 ± 190	5960 ± 220	4010 ± 220
54	5090 ± 190	5840 ± 210	3890 ± 210
101	4850 ± 150	5545 ± 170	3595 ± 170
44	4980 ± 140	5710 ± 160	3760 ± 160

Este de menţionat că autoarea nu separă mormintele aparţinând culturilor Tiszapolgár şi Bodrogkeresztúr. Potrivit monografiei asupra acestei necropole, elaborată de Ida B. Kutzián, mormintele nr. 5, 23, 28 şi 54 aparţin fazei timpurii a epocii aramei, iar cele nr. 41, 44, 101 şi 120 fazei mijlocii a aceleiaşi epoci. Mormântul nr. 84 este mai timpuriu, şi după opinia arheologului care a condus săpătura, decât celelalte înmormântări ale necropolei.

Următorul exemplu se referă la celebra cetate a Troiei, cunoscută din poemele homerice şi identificată de Heinrich Schliemann cu aşezarea fortificată, cu mai multe straturi şi niveluri de locuire, aflată pe dealul Hissarlik, din nord-vestul Asiei Mici. Datele radiocarbon (pe care le vom prezenta în continuare după Hans Quitta) privesc ultima etapă de construcţie a celui de al doilea strat, datând din epoca timpurie a bronzului (Troia II g). Măsurătorile au fost efectuate în laboratorul radiocarbon al fostului Institut Central de Istorie Veche şi Arheologie al Academiei de Ştiinţe a RDG din Berlin, pe acele rămăşiţe vegetale (boabe, în special), care au fost colectate de R. Virchow printre ruinele "oraşului incendiat" în anii 1879 şi 1880, când a vizitat săpăturile lui Schliemann. Aceste date sunt importante, pe de o parte, deoarece uşurează compararea cronologiei istorice şi a celei radiocarbon, privitoare la Troia, iar

pe de altă parte fiindcă oferă noi repere în evaluarea mult discutatului raport cronologic între Troia și culturile din spațiul balcano-dunubian. Tabelul cuprinzând datele radiocarbon a fost simplificat și în acest caz: am omis nr. de inventar al mostrelor și nr. de laborator al măsurătorilor; în schimb, mostrele au fost numerotate de la 1 la 8, în ordinea publicată de Quitta. Alături de primele două mostre figurează câte două date, deoarece acestea au fost măsurate de două ori.

Nr. mostrei	Data BP	Data b.c. (data BP - 1950)	Vârsta calibrată, BC
1	3735 ± 60 3800 ± 60	1785 ± 60 1850 ± 60	2300 - 2150 2460 - 2170
2	3700 ± 100 3760 ± 60	1750 ± 100 1810 ± 60	2330 - 2110 2330 - 2160
3	3900 ± 90	1950 ± 90	2600 - 2190
4	3710 ± 80	1760 ± 80	2290 - 2110
5	3730 ± 100	1780 ± 100	2440 - 2110
6	3845 ± 70	1895 ± 70	2540 - 2180
7	3635 ± 60	1685 ± 60	2160 - 2080
8	3665 ± 60	1715 ± 60	2180 - 2110

În încheiere vom menționa datarea unor descoperiri provenite din portul gallo-roman, ieșit la iveală cu ocazia construirii canalului Hensies - Pommeroeul din Belgia. Portul a funcționat din perioada La Tène II, aproximativ de la 300 î.H., până în vremea de după cucerirea romană. Printre altele, au fost descoperite rămășițele debarcaderului, care au suprapus parțial

resturile a două ambarcaţiuni ("pirogi"), a două luntre (cu fundul plat) şi a unei bărci. Descoperirile au fost publicate de De Boe şi colaboratorii săi în 1977. Construirea navelor, confecţionate din stejar, indică o lucrătură celtică. Ambarcaţiuni asemănătoare au mai fost descoperite în Anglia, Elveţia şi Franţa, iar considerentele tipologice pledează pentru o datare în secolele I-III d.H. Debarcaderul şi vasele au fost desfăcute, scândurile au fost numerotate, conservate şi au fost prelevate mostre, în scopul datărilor dendrocronologice şi de radiocarbon. Pentru măsurătorile radiocarbon (efectuate în laboratorul Institutului Regal al Patrimoniului Artistic din Bruxelles) mostrele au fost prelevate din părţile exterioare (deci cele mai recente) ale scândurilor, pentru a evita, pe cât posibil, eroarea rezultată din vârsta materialului lemnos. În tabelul de mai jos (pe care l-am întocmit după M.Dauchot- Dehon şi M. van Strydonck) am omis nr. de laborator al mostrelor şi numerotarea scândurilor, menţionăm, totuşi, pentru a putea fi comparate datele, că mostrele au fost prelevate din următoarele patru ansambluri de descoperiri: 1. luntrea nr.1; 2. debarcaderul; 3. barca; 4. luntrea nr.2. Aceste cifre vor figura în prima coloană a tabelului. După aprecierea autorilor, datele radiocarbon obţinute sunt în concordanţă cu datarea bazată pe criteriile tipologiei, căci, în urma calibrării efectuate după metoda MASCA, limita superioară a fiecărei date a fost "împinsă" în perioada de după începutul erei noastre.

BCU IAŞI

Ansambluri de descoperiri	Vârsta convențională ^{14}C, în ani BP	Data b.c./AD (BP ± 1950)	Vârsta calibrată în ani BC/AD
1	1960 ± 50	10 ± 50 b.c.	100 -10 BC → 70 AD
	1930 ± 50	20 ± 50 AD	10 AD → 100 AD
	1995 ± 70	45 ± 70 b.c.	140 BC → 65 AD
	2025 ± 55	75 ± 55 b.c.	190-140 BC → 30 AD
	1825 ± 50	125 ± 50 AD	90 AD → 180-200 AD
2	1660 ± 45	290 ± 45 AD	255 AD →370-390 AD
	1745 ± 50	205 ± 50 AD	160 AD →275 AD
	1755 ± 45	195 ± 45 AD	145 AD →260 AD
3	1725 ± 45	225 ± 45 AD	180 AD →290 AD
4	1730 ± 45	220 ± 45 AD	175 AD →285 AD

3.2.2.3. *Metoda lui Damon și colab.* Cea de a treia variantă a calibrării bazate pe măsurarea ^{14}C a mostrelor de *Pinus aristata*, datate cu ajutorul dendrocronologiei, a fost elaborată în 1972 de P.E. Damon, A. Long și E. I. Wallick, colaboratori ai laboratorului Universității Arizona din Tucson, care au revenit și ulterior asupra procedeului lor (1974, 1978). Pe lângă datele celor trei laboratoare deja menționate, ei au avut în vedere și rezultatele laboratorului Universității Yale. Esența procedeului lor constă în faptul că din valorile ^{14}C, măsurate pe seria de inele, au calculat valorile medii pe intervale de câte 25 de ani, iar apoi, pe baza datelor referitoare la perioadele succesive de câte 250 de ani, au definit, tot prin metode matematice, polinomul ce exprimă trendul general al variațiilor de concentrație C-14. (A se vedea fig. 13C, din care poate fi dedusă eroarea vârstei radiocarbon, în funcție de acest trend

general, reprezentat prin curba marcată de linia punctată.) Dacă procedeul MASCA doar a estompat zigzagurile lui Suess, metoda lui Damon, Long și Wallick a făcut, practic, să dispară iregularitățile datorate fluctuațiilor de mai scurtă durată (interpretate ca o sursă adițională a erorilor accidentale), "a netezit" curba de calibrare, care reflectă, astfel, doar trendul general, sinusoid, al variațiilor concentrației de ^{14}C. De altfel, acest trend abia dacă se deosebește de polinomul deja menționat, definit pe baza procedeului MASCA (fig.13C, curba marcată prin linia continuă), sau de polinomul determinat de W.H.Wendland și D.L. Donley în 1971 (fig.13C, curba marcată prin linii întrerupte). Pe baza valorilor medii de 25 de ani, specialiștii laboratorului Universității Arizona au calculat și cuprins în tabel și deviațiile standard; pentru perioadele succesive de câte 250 de ani (vezi, în formă grafică, fig.13D). Punctul de plecare al transformării datelor radiocarbon îl constituie valorile trendului general "netezit", iar influența oscilațiilor pe termen scurt și mijlociu este indicată prin prezentarea, alături de data centrală, și a deviației standard, calculată pentru perioada corespunzătoare. Avantajul metodei lui Damon și colaboratorii săi constă în faptul că face posibilă corectarea relativ simplă și rapidă a datelor radiocarbon. Dacă dorim să aflăm însă influența reală a fluctuațiilor ^{14}C pe termen mai scurt asupra determinărilor cronologice - în cazul unor date "critice" de pildă -, este recomandabil să se efectueze calibrarea și cu metodele lui Suess și Ralph.

Pentru ilustrarea rezultatelor calibrării, efectuate prin procedeul lui Damon și colab., vom cita (după Éva Csongor și coautorii) datele radiocarbon a două morminte din perioada mijlocie a epocii aramei, săpate la Tiszapolgár-Basatanya, și a

patru înmormântări celtice, din perioada La Tène, descoperite la Pilismarót-Basaharc. Determinările cronologice au fost efectuate în laboratorul de la Debrecen, prin metoda deja menționată. În tabelul alăturat am omis, și în acest caz, nr. de laborator al mostrelor, iar numele locurilor de descoperire l-am indicat prescurtat (Tp -Bt; Pm-Bh). Datele sunt interesante și datorită faptului că datarea radiocarbon convențională a celor două morminte de la Tiszapolgár a fost calibrată și prin metoda MASCA (vezi *supra*), rezultatele pot fi, astfel, comparate. Confruntarea rezultatelor celor două procedee de calibrare este posibilă, într-o anumită măsură, și prin compararea datării descoperirilor gallo-romane din Belgia, deja menționate, cu datarea celor două morminte celtice mai recente de la Pilismarót.

Locul de descoperire	Nr. morm.	Vârsta radiocarbon convențională, BP	Vârsta calibrată, BC
Tp-Bt	101	4850 ± 150	3500 ± 170
	44	4980 ± 140	3660 ± 160
Pm-Bh	292	2100 ± 120	130 ± 130
	292	2400 ± 140	470 ± 140
	283	2390 ± 130	460 ± 130
	332	2060 ± 120	90 ± 130

Pentru compararea rezultatelor calibrării datelor radiocarbon, efectuate prin procedeul MASCA și prin metoda

lui Damon mai citãm trei exemple (după H.J.Aitken), omiţând două coloane ale tabelului original.

Data radiocarbon convenţională		Data calibrată	
pe baza timpului de înjumătăţire Libby	pe baza timpului de înjumătăţire îmbunătăţit	după procedeul MASCA	după metoda lui Damon şi colab.
1000 ± 40 AD	970 ± 40 AD	1020 ± 50 AD	1020 ± 60 AD
570 ± 40 b.c.	650 ± 40 b.c.	780 ± 50 BC	700 ± 110 BC
1900 ± 40 b.c.	2020 ± 40 b.c.	2200 - 2480 BC	2430 ± 120 BC

Aplicând procedeul MASCA, dacă limitele în timp ale datei radiocarbon originale (convenţionale), marcate prin deviaţia standard, interceptează o singură încrucişare (ca în primele două exemple), şi data calibrată poate fi prezentată în forma obişnuită, însoţită de marja de eroare ±. Dacă survin însă între limitele datei încrucişări multiple şi, în consecinţă, datei radiocarbon convenţionale îi corespunde câte un interval sau domeniu (span, range) al timpului calendaristic, data corectată trebuie prezentată după modelul celui de al treilea exemplu.

3.2.3. *Sisteme de calibrare mai recente*

3.2.3.1. *Introducere.* După elaborarea primelor curbe de calibrare şi procedee de corecţie, prezentate mai sus, unele laboratoare au fost echipate cu instalaţii care au făcut posibil să se obţină determinări cronologice mult mai precise decât datele ^{14}C obişnuite până atunci, calculate, în general, cu o marjă de eroare de cel puţin ± 40 ani. În felul acesta s-a realizat acea condiţie a alcătuirii curbei de calibrare "veritabile" ca

măsurătorile ^{14}C să fie mult mai precise. Apoi, o asemenea curbă ar trebui să reflecte fidel toate variațiile, pe termen mai lung sau mai scurt, ale concentrației de C-14, ceea ce nu pot fi evidențiate decât prin determinarea foarte precisă a vârstei rădiocarbon a mii de inele datate dendrocronologic și măsurate unu câte unu. În cursul aplicării primelor curbe de calibrare specialiștii s-au putut convinge că interpretarea statistică a datelor mai puțin precise ar putea fi de valoare limitată și chiar derutantă, mai ales dacă nu sunt îndeajuns luate în considerație caracterul și măsura variațiilor de concentrație, ce se conturează în urma măsurătorilor ^{14}C, precum și factorii geofizici sau de altă natură, care le provoacă. W.G.Mook consideră, de pildă, că erorile mai mari semnalate de unele porțiuni ale curbei și tabelului lui Damon nu sunt pur statistice ci, mai degrabă, se datorează fluctuațiilor mai mari ale concentrației ^{14}C, caracteristice pentru aceste perioade. Specialistul de la Groningen ne mai avertizează că "eroarea" ce însoțește datele ^{14}C depinde și de intervalul de timp, reprezentat de mostră. Nesiguranța determinării cronologice a mostrelor ce întrupează un scurt interval de timp este în mare măsură influențată de amplitudinea fluctuațiilor de mai scurtă durată, ceea ce, în schimb, afectează mai puțin mostrele care reprezintă un interval de timp mai lung. De aceea, în cazul mostrelor de acest tip din urmă, utilizarea unei curbe "netezite" poate fi mai eficace decât s-ar putea deduce din tabelul lui Damon și colaboratorii săi. Se poate remarca, în același timp, că deviațiile standard stabilite de echipa condusă de Ralph nu iau în considerație, în suficientă măsură, nesiguranța datării mostrelor ce întrupează un scurt interval de timp.

Procedeele de calibrare mai noi, dintre care vom prezenta câteva în cele ce urmează, se bazează deja, toate, pe măsurători de precizie, şi aplicarea lor necesită, de asemenea, mai multă circumspecţie. Nici aceste sisteme nu se extind asupra întregului interval de timp, ce poate fi datat astăzi cu ajutorul dendrocronologiei. Dar, spre deosebire de curbele de calibrare mai vechi, alcătuite exclusiv în urma investigaţiilor făcute pe mostre de lemn de origine nord-americană, unele dintre cele recente se bazează deja pe măsurarea ^{14}C a seriilor de inele ale arborilor europeni. O parte a acestora, mai ales cele referitoare la perioadele mai vechi, este formată din serii de inele "flotante", care, chiar îmbinate între ele, nu au putut fi prelungite până la inelele arborilor în viaţă, cu alte cuvinte, vârsta lor absolută nu a putut fi stabilită numai prin metoda dendrocronologiei. Cu toate acestea, aceste serii de inele, mai mult sau mai puţin lungi s-au dovedit deosebit de valoroase, chiar şi prin faptul că diferenţa de vârstă dintre mostrele prelevate din ele a putut fi precis stabilită, ceea ce a înlesnit obţinerea unor datări radiocarbon mai apropiate de realitate şi, mai ales, transformarea datelor ^{14}C convenţionale în date calendaristice. S-a încercat ca aceste serii dendrocronologice flotante să fie datate (deci "fixate" pe scala timpului) prin măsurători radiocarbon, dar nu pur şi simplu prin determinarea obişnuită a vârstei, ci având în vedere oscilaţiile reprezentate grafic ale concentraţiei ^{14}C, caracteristice pentru perioada întrupată în seria respectivă, şi care pot fi comparate - potrivite cu modelul (desenul, graficul) fluctuaţiei ^{14}C, caracteristice altor serii ("wiggle matching"). Deci, se poate vorbi nu numai despre corecţia dendrocronologică a scalei timpului radiocarbon ci şi despre calibrarea radiocarbon a seriilor dendrocronologice

flotante. Şi aici se închide cercul: serii dendrocronologice (europene) sunt fixate pe scala timpului măsurat conform trecerii anilor calendaristici cu ajutorul unor date radiocarbon, a căror vârstă "reală" a fost stabilită pe baza măsurării ^{14}C a unor mostre de lemn (nord-americane), datate prin metoda dendrocronologiei.

3.2.3.2. *Curba lui M. Stuiver.* Să aruncăm mai întâi o privire asupra curbei de calibrare şi procedeului de corecţie, în general, al datelor radiocarbon, de mare precizie, elaborat de Minze Stuiver, de la laboratorul de radiocarbon al universităţii din Seattle (statul Washington, SUA), pentru perioada 1-1950 d.H. Pentru măsurătorile ^{14}C au fost utilizate mostre de lemn, datate dendrocronologic, prelevate din exemplarele bradului - Douglas (*Pseudotsuga mensiesii*), crescute în părţile de nord-vest ale SUA, în zona litoralului Oceanului Pacific, precum şi pe insula învecinată, Vancouver (sud-vestul Canadei). Numărând inelele copacului cel mai în vârstă, s-a ajuns de la prezent până în anul 730 d.H. În completare, pentru perioada 1-940 d.H., au fost folosiţi şi doi arbori-mamut (poziţia lor geografică: latitudinea nordică 36,5°, longitudinea vestică 118,5°). În vederea măsurătorilor au fost preparate, cu cea mai mare grijă, un număr de 195 de mostre, fiecare corespunzând, deci, câte unui deceniu. După cum se ştie, anul 1950 d.H. este acel an "zero", de la care sunt socotite, de la prezent spre trecut, datele radiocarbon. În felul acesta, primul deceniu al perioadei studiate, respectiv cea mai veche mostră, reprezenta doar nouă ani (1-9 d.H.), celelalte corespondeau, însă, într-adevăr, cu câte 10 ani (între 10-19 şi 1940-1949 d.H.). Activitatea ^{14}C a

mostrelor a fost stabilită cu o precizie de cel puţin 2‰, ceea ce corespunde unei erori de maximum 16 ani în vârsta radiocarbon măsurată. Pentru intervalele 1510-1620 şi 1820-1954 d.H. ale curbei, a fost stabilită şi vârsta ^{14}C individuală a fiecărui inel, fiind apoi calculate valorile medii pe decade. Deviaţia standard s-a redus, astfel, la cca ± 4 ani, ceea ce înseamnă că, prin măsurăturile efectuate, a fost atinsă precizia de 0,5‰.

Pe baza rezultatelor măsurătorilor ^{14}C efectuate asupra celor 195 de mostre a fost alcătuită o curbă de calibrare. Datele obţinute în urma măsurătorilor au fost reprezentate mai întâi separat (una câte una) pe un grafic a cărui axă verticală marca vârsta radiocarbon socotită în ani BP, iar axa orizontală anii-dendro între 1-1950 AD. Aceştia sunt identici cu anii calendaristici (dacă inelele au putut fi numărate fără eroare). Pe grafic, vârsta radiocarbon corespunzătoare câte unei decade este marcată prin câte un cerculeţ, însoţit de câte o liniuţă verticală, semnalând eroarea de măsurare (o deviaţie standard de 1 s). Aceste liniuţe lipsesc dacă deviaţia standard nu depăşeşte valoarea corespunzătoare diametrului cerculeţelor (vezi fig.20a-b). În următoarea treaptă, legând punctele de măsurare reprezentate pe graficul anterior, a fost alcătuită o curbă continuă pentru stabilirea relaţiei dintre vârsta radiocarbon şi vârsta reală. Lăţimea fâşiei haşurate acoperă un interval de timp corespunzător unei deviaţii standard de 1 s (fig.21a-b. Curba redă, firește, şi fluctuaţiile concentraţiei ^{14}C, mai mari sau mai mici, uneori mai bruste, alteori mai uniforme, caracteristice pentru perioada 1-1950 AD). Având la bază datele de mai sus, a fost alcătuită, în final, curba de calibrare propriu-zisă, cu

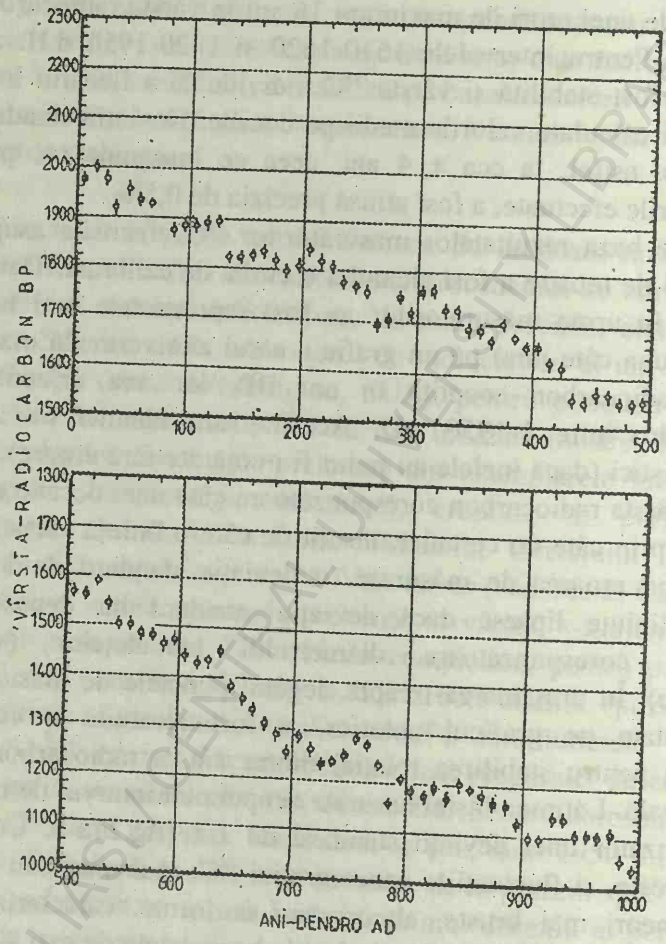


Fig. 20a. Explicația: p.184.

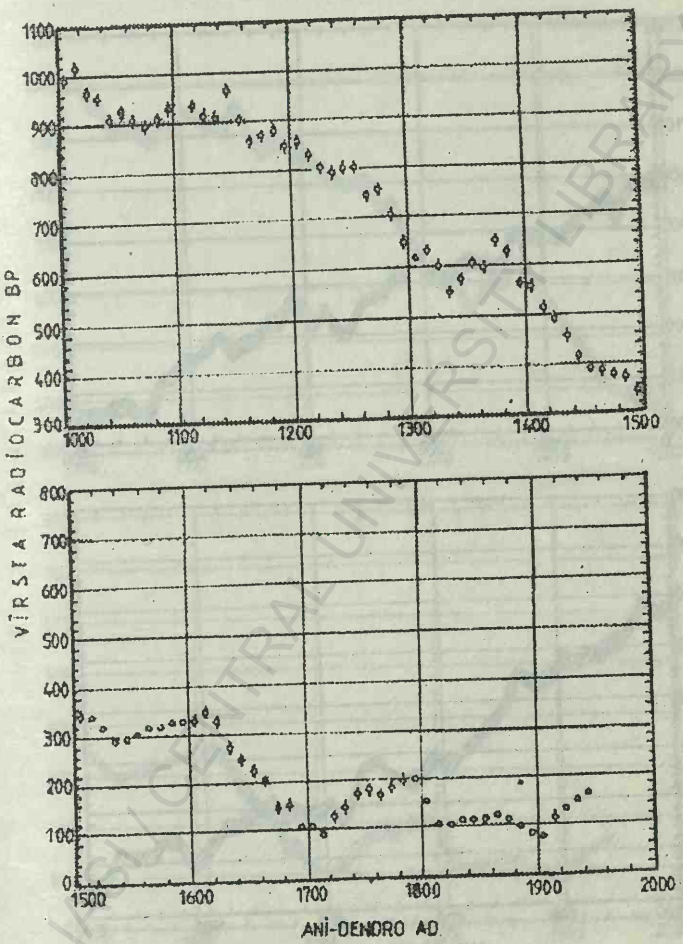


Fig. 20b. Explicația: p. 184.

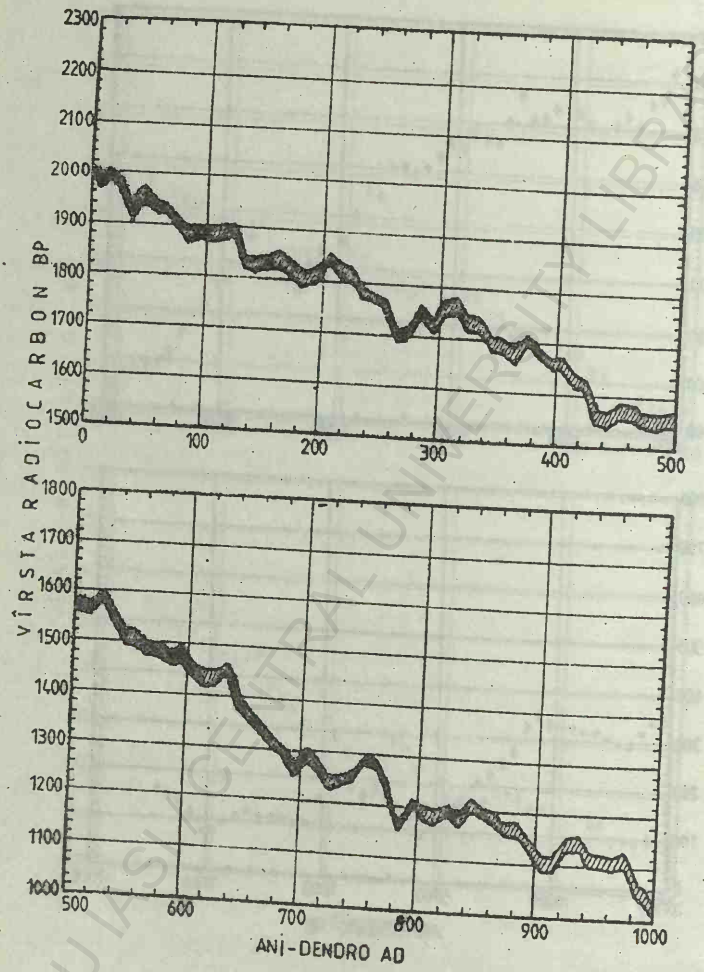


Fig. 21a. Explicația: p.184.

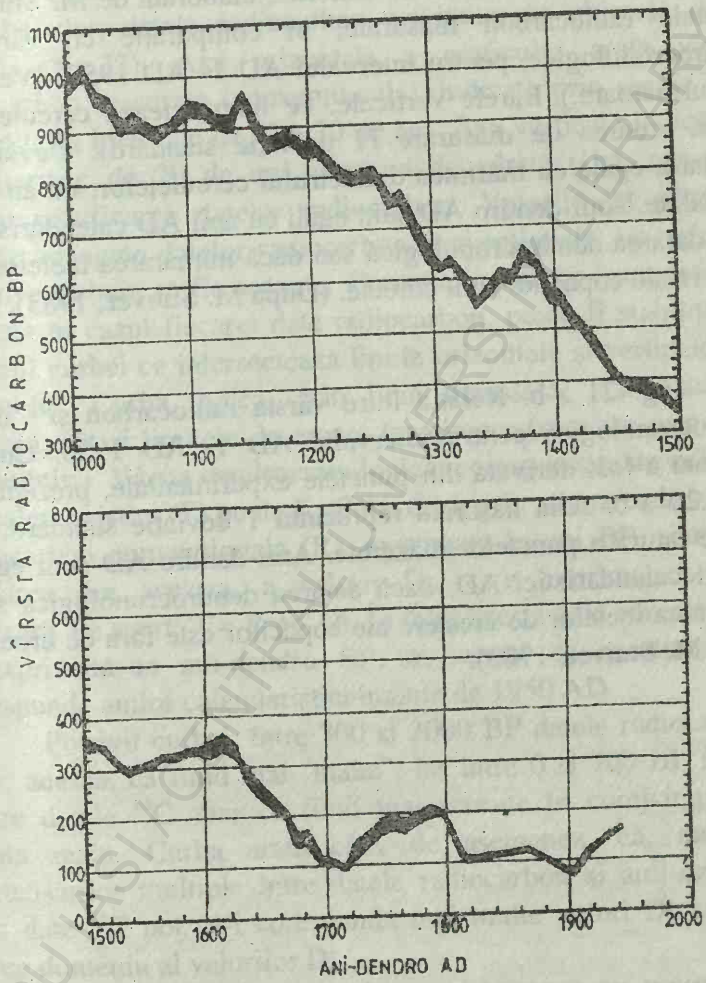


Fig. 21b. Explicația: p.184.

Fig. 20 a-b. Curba de calibrare elaborată de M. Stuiver. Vârstele radiocarbon măsurate, în comparaţie cu vârstele dendrocronologice, pentru intervalul AD 1- AD 1950. (Vezi şi fig. următoare.) Barele verticale, ce intersectează cerculeţele, indică eroarea de măsurare (1 deviaţie standard). Deviaţiile standard, egale cu mărimea diametrului cerculeţelor, nu au fost semnalate. Anii-dendro AD sunt egali cu anii AD calendaristici, dacă datarea dendrocronologică sau dacă numărarea inelelor de creştere ale copacilor sunt corecte. (După M. Stuiver, 1983).

Fig. 21 a-b. Relaţia între vârsta radiocarbon şi vârsta dendrocronologică pentru intervalul AD 1- AD 1950. Curba continuă a fost derivată din punctele experimentale, prezentate în fig.20 a-b. Aria haşurată reprezintă 1 deviaţie standard, în fiecare latură a punctelor măsurate. Anii-dendro AD sunt egali cu anii calendaristici AD, dacă datarea dendrocronologică sau numărarea inelelor de creştere ale copacilor este fără de eroare. (După M. Stuiver, 1983).

BCU IAŞI / CENTRU

ajutorul căreia pot fi corectate, adică transformate în ani calendaristici, datele radiocarbon privitoare la ultimele două milenii (fig.22). Axa orizontală a graficului arată vârsta radiocarbon măsurată (convenţională), indicată prin secole BP, împărţite în intervale de câte 20 de ani. Axa verticală indică tot cu intervale de 20 de ani, corecţia de vârstă (Dt), necesară pentru rectificarea datelor radiocarbon. Valorile Dt pozitive trebuie adăugate datelor radiocarbon convenţionale, iar valorile negative trebuie să fie scăzute. Corecţia în ani, ce urmează a fi aplicată în cazul fiecărei date radiocarbon, poate fi stabilită cu ajutorul curbei ce intersectează liniile orizontale şi verticale ale graficului. Curba indică (prin linia îngroşată) atât valoarea centrală, cât şi limitele de eroare însoţitoare (marcate prin linii mai subţiri). Vârsta dendrocronologică, corespunzătoare celei în ani calendaristici (T) poate fi aflată, deci, prin adunarea la vârsta radiocarbon convenţională (R), exprimată în ani BP, sau prin scădarea din aceasta, a valorii Dt, care exprimă corecţia necesară. Pe scurt: T = R +/- Dt. În felul acesta data corectată va fi exprimată în ani-dendro BP, în sensul că rezultatul va corespunde anilor calendaristici înainte de 1950 AD.

Potrivit curbei, între 700 şi 2000 BP datele radiocarbon apar, adesea, ca fiind mai "înalte", iar între 0 şi 700 BP multe dintre datele ^{14}C apar ca fiind mai recente în comparaţie cu vârsta reală. Curba arată clar, de asemenea, că, datorită încrucişărilor multiple între datele radiocarbon şi anii-dendro, unei date ^{14}C pot să-i corespundă mai multe valori Dt sau un întreg domeniu al valorilor Dt.

Curba de calibrare a lui Stuver se bazează pe măsurarea ^{14}C a unor mostre de lemn, reprezentând perioade de creştere de

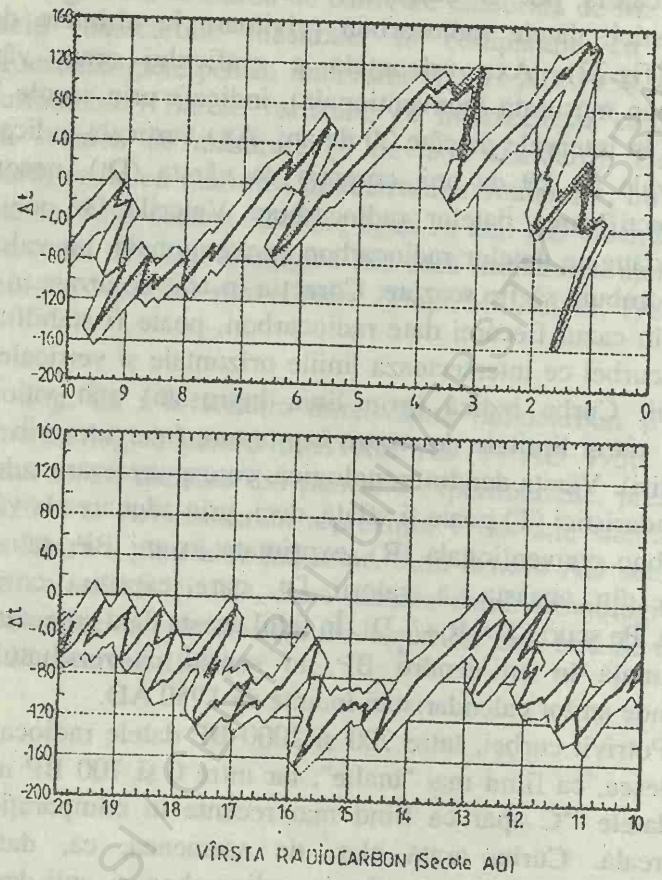


Fig. 22. Corecția de vârstă Dt, ceea ce trebuie aplicată vârstelor radiocarbon până la 2000 de ani. Corecția de vârstă Dt trebuie adăugată vârstei radiocarbon R, pentru a obține vârsta exprimată în ani-dendro, înainte de AD 1950 (T=R+Dt; vezi text). (Dupa M. Stuiver, 1983).

câte 10 ani, respectiv, pe valorile medii decadele. Se poate pune, prin urmare, întrebarea (problema fiind ridicată chiar de autor), dacă această curbă este suficient de precisă pentru corectarea vârstei radiocarbon a unor mostre ce s-au format în cursul unui singur an (boabe de cereale, seminţe, frunze etc.)? Investigarea mostrelor de lemn formate în perioadele 1510-1620 şi 1820-1954 a demonstrat că valorile ^{14}C, măsurate separat, pe inele individuale, diferă numai în mică măsură de trendul stabilit pe baza valorilor medii decadale. Toate acestea dovedesc - consideră Stuiver - că metoda sa de calibrare, elaborată prin măsurarea ^{14}C a unor "pachete" de câte zece inele, poate fi aplicată şi pentru corectarea datărilor radiocarbon convenţionale a unor mostre, care reprezintă o perioadă de creştere de numai un an.

3.2.3.3. *Curba lui G.W. Pearson şi colaboratorii săi.*

Dintre curbele de calibrare, elaborate pe baza măsurătorilor ^{14}C efectuate pe seriile de inele datate ale unor arbori europeni, vom menţiona pe cea realizată în 1983 de G.W. Pearson, J.R. Pilcher şi M.G.L. Baillie în laboratorul de la Belfast (Irlanda de Nord). Mostrele au fost prelevate dintr-o serie dendrocronologică datată între 4000 şi 200 î.H. Fiecare mostră a fost preparată din substanţa lemnoasă a 20 de inele. În ceea ce priveşte precizia măsurătorilor, este de remarcat faptul că eroarea statistică a datării radiocarbon nu depăşeşte ±17 ani. Asemenea procedeului aplicat în cursul alcătuirii curbei lui Stuiver, datele rezultate în urma măsurătorilor au fost reprezentate mai întâi una câte una pe grafic, iar apoi, legând punctele de măsurare, a fost trasată curba continuă, cu o lăţime

corespunzătoare unei deviații standard de 1 s. Axa verticală a graficului indică, și în acest caz, vârsta radiocarbon socotită în ani BP, iar cea orizontală marchează vârsta dendrocronologică, identică, practic, cu cea exprimată în ani calendaristici î.H. O porțiune a curbei este prezentă în fig. 23. Linia dreaptă, marcată cu litera C, trasată alături de curba unghiulară reflectând oscilațiile petrecute în concentrația ^{14}C a atmosferei, indică aceea tendință teoretică, care ar fi valabilă în cazul în care conținutul C-14 al atmosferei ar fi fost constantă.

Figura alăturată oferă două exemple, cum pot fi corectate datele radiocarbon cu ajutorul curbei de calibrare în mod direct (deci fără calcularea și includerea într-un grafic sau tabel special a valorilor $\Delta\ ^{14}C$). Datarea radiocarbon a mostrei indicate cu litera A este 2680 ± 50 BP. Dacă dorim să transformăm această dată în ani calendaristici, va trebui să calculăm mai întâi limitele de eroare a datei (în cazul nostru: 2630-2730 BP), apoi trebuie să stabilim, ce porțiune a curbei este intersectată de această fâșie de timp și ce interval al anilor calendaristici îi corespunde porțiunii respective a curbei. Acest interval cuprinde toate datările absolute posibile ale mostrei în discuție. (Domeniul de timp radiocarbon și intervalul exprimat în ani calendaristici ce îi corespunde sunt indicate pe grafic prin fâșiile haşurate orizontale și verticale. Întrucât în cazul mostrei A porțiunea curbei, ce intersectează limitele de eroare ale datei radiocarbon, are o înclinare relativ uniformă, și intervalul real, corespunzător, exprimat în ani calendaristici, este de numai 100 de ani (910-810 BC). Deci, conform acestui sistem de calibrare, 2680 ± 50 BP = 910-810 BC. Vârsta radiocarbon a mostrei notate cu litera B este 2450 ± 50 BP, căreia îi corespunde

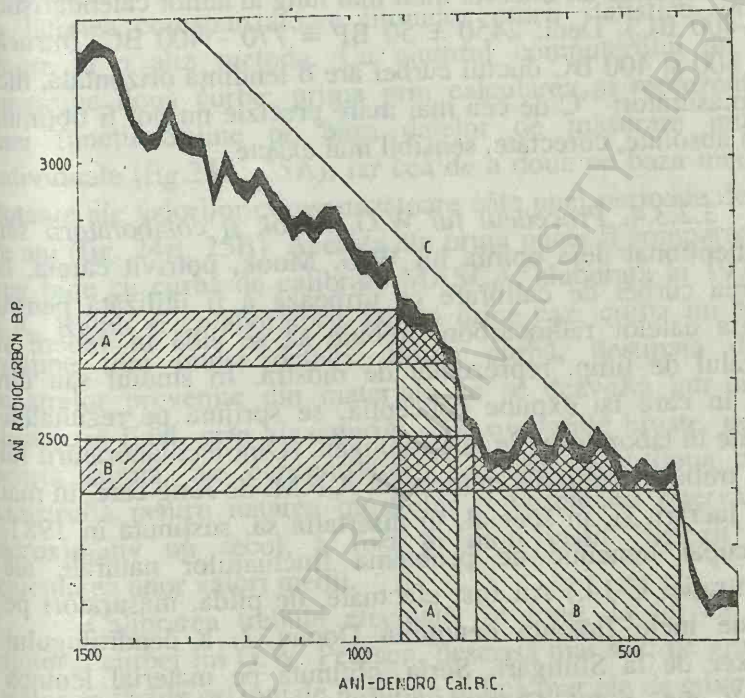


Fig. 23. Detaliu al curbei de calibrare elaborată de G.W.Pearson, J.R.Pilcher și M.G.L. Baillie (1983). Graficul ilustrează calibrarea datelor radiocarbon 2680 ± 50 BP (A) și 2450 ± 50 BP (B). (După W.E. Stöckli, 1986).

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

intervalul de 2400-2500 în ani BP. Spre deosebire de exemplul anterior, datorită tendinței orizontale a porțiunii curbei ce intersectează această fâșie de timp, vârstei radiocarbon a mostrei B îi corespunde un interval mult mai lung al anilor calendaristici (770-400 BC). Deci: 2450 ± 50 BP = 770 - 400 BC. Întrucât între 800 și 400 BC ductul curbei are o tendință orizontală, nici prin măsurători ^{14}C de cea mai mare precizie nu pot fi obținute datări absolute, corectate, sensibil mai exacte.

3.2.3.4. *Procedeul lui W.G. Mook și colaboratorii săi.* Am menționat deja opinia lui W.G. Mook, potrivit căreia, la alegerea curbei de calibrare ce urmează a fi utilizată pentru corecția datelor radiocarbon, trebuie să se aibă în vedere și intervalul de timp, reprezentat de mostră. În studiul său din 1983, în care își expune concepția, se sprijină pe rezultatele obținute în laboratorul de la Groningen. (Dintre colaboratorii lui Mook trebuie menționat numele lui A.F.M. de Jong care, în mai multe lucrări, și, în special, în disertația sa, susținută în 1981, s-a ocupat temeinic de problema fluctuațiilor naturale ale concentrației C-14.) Au fost efectuate, de pildă, măsurători pe seria de inele flotantă denumită Donau 7, a dendrologului B.Becker de la Stuttgart. Seria, obținută pe material lemnos provenit din sudul Germaniei, a fost datată, prin metoda "wiggle-matching" (potrivirea curbei obținute cu curba lui Suess), între aproximativ 3900 și 3200 BC. Fiecare mostră a fost prelevată din materialul unui singur inel sau a două inele de stejar, măsurătorile fiind efectuate cu o precizie de ± 10 ani. Asemenea primei faze a procedeelor lui Stuiver și Pearson, datele rezultate în urma măsurătorilor au fost reprezentate mai

întâi una câte una pe graficul alcătuit în maniera deja cunoscută. În continuare însă punctele de măsurare nu au fost legate direct între ele şi nu a fost alcătuită o curbă în formă de fâşie continuă, cu lăţimea corespunzătoare limitelor erorii statistice, ci s-a recurs la o altă metodă. Cu ajutorul computerului au fost construite două curbe: prima prin calcularea şi reprezentarea unei funcţii Spline pe baza datelor de măsurare iniţiale, individuale (fig.24A, 25A), iar cea de a doua pe baza mediilor flotante ale valorilor corespunzătoare câte unei perioade de 100 de ani (fig. 24B, 25B). Aceasta din urmă poate fi comparată cel mai bine cu curba de calibrare MASCA, elaborată în 1973 de E.K. Ralph şi colaboratorii săi; în orice caz, curba lui Mook conţine mai multe detalii. Prima curbă, destinată datării mostrelor provenite din materiale ce se dezvoltă într-un an, ilustrează fidel, prin zigzagurile sale, oscilaţiile bruste, de mai scurtă durată, ale concentraţiei ^{14}C. Cea de a două curbă, construită pentru datarea mostrelor reprezentând intervale de aproximativ un secol, a fost în mod vădit "netezit" prin calcularea unor valori medii.

Calibrarea trebuie efectuată, în fond, la fel ca şi cu ajutorul curbei lui G.W. Pearson, descrisă mai sus: pe graficele alăturate fâşiile orizontale haşurate indică marjele de eroare (cu deviaţia standard de 1 s) ale datelor radiocarbon iniţiale, iar fâşiile verticale arată intervalul de timp corespunzător, exprimat în ani dendrocronologici (calendaristici), determinat de porţiunea intersectată a curbei. În cazul de faţă, pentru stabilirea vârstei istorice, nu a fost luată în consideraţie nesiguranţa statistică a curbelor. Imprecizia curbelor destinate datării mostrelor dezvoltate într-un an este apreciată ca fiind în jur de

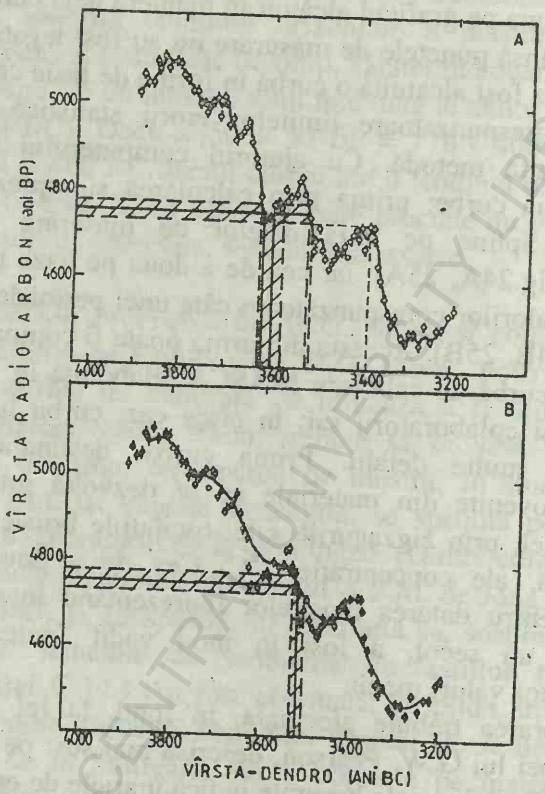


Fig. 24. Calibrarea datei radiocarbon 4750 ± 20 BP prin procedeul lui W.G. Mook şi colab. A: curba destinată datării mostrelor provenite din materiale ce se dezvoltă într-un an; B: curba construită pentru datarea mostrelor reprezentând intervale de aproximativ 100 de ani. Explicaţia: în text. (După W.G.Mook, 1983).

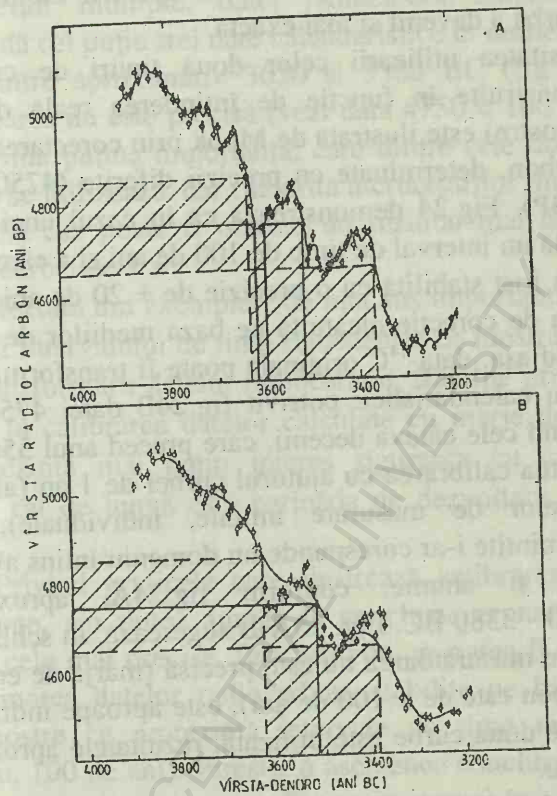


Fig. 24. Calibrarea datei radiocarbon 4750 ± 20 BP prin procedeul lui W.G. Mook şi colab. A: curba destinată datării mostrelor provenite din materiale ce se dezvoltă într-un an; B: curba construită pentru datarea mostrelor reprezentând intervale de aproximativ 100 de ani. Explicaţia: în text. (După W.G.Mook, 1983).

± 10 ani, considerându-se că în urma operării cu medii ("a netezirii") curba a devenit şi mai exactă.

Necesitatea utilizării celor două tipuri de curbe de calibrare (construite în funcţie de întinderea reală de timp, întrupat în mostre) este ilustrată de Mook prin corectarea a două date radiocarbon, determinate cu precizii diferite (4750 ±20 şi 4750 ±100 BP). Fig.24 demonstrează că în cazul unei mostre care reprezintă un interval de timp de 100 de ani şi a cărei vârstă radiocarbon a fost stabilită cu o precizie de ± 20 de ani trebuie aplicată curba de corecţie alcătuită pe baza mediilor de 100 de ani. Procedând aşa, data ^{14}C originală poate fi transformată fără echivoc în ani calendaristici: potrivit fig.24B datei 4750 ± 20 BP îi corespund cele câteva decenii, care preced anul 3500 BC. Dacă am efectua calibrarea cu ajutorul curbei de 1 an (alcătuită pe baza datelor de măsurare iniţiale, individuale), datei radiocarbon amintite i-ar corespunde un domeniu întins al anilor calendaristici, şi anume, conform fig.24A, aproximativ intervalul 3630 - 3380 BC. Fig. 25A-B sugerează, în schimb, că în cazul în care măsurătoarea nu este precisă (marja de eroare a datei radiocarbon este de ± 100 de ani), este aproape indiferent, care dintre cele două curbe este utilizată: rezultatele aproape că nu se deosebesc.

Dacă substanţa mostrei reprezintă o perioadă de creştere de un an, prin aplicarea curbei de 100 de ani am obţine o imagine prea simplificată despre vârsta reală a mostrei. Într-adevăr: după cum am arătat mai sus, cu ajutorul curbei de 100 de ani data radiocarbon 4750 ± 20 BP poate fi transformată, aparent precis, într-un interval de timp calendaristic de numai câteva decenii. Curba de 1 an ne avertizează însă că, datorită

încrucișărilor multiple, datei radiocarbon amintite pot să-i corespundă cel puțin trei date calendaristice în domeniul de timp cuprins între aproximativ 3630 și 3380 BC (fig.24A). Dacă măsurătoarea nu este precisă (vezi data 4750 ± 100 BP, fig.25), prezintă mai puțină importanță, care dintre cele două curbe de calibrare se utilizează, dar (datorită încrucișărilor multiple) chiar și în acest caz poate fi obținut un rezultat mai diferențiat cu ajutorul curbei de 1 an.

Rezultă din exemplele de mai sus importanța cunoașterii întinderii intervalului de timp reprezentat de mostră, mai ales în cazul transformării datelor radiocarbon, stabilite prin măsurători precise; la calibrarea datelor calculate cu marje de eroare mai mari prezintă mai puțin interes siguranța cu care poate fi evaluat, cât de lungă este perioada de dezvoltare, întrupată în mostră.

Privind graficele care ilustrează calibrarea datelor ^{14}C menționate, am putea ajunge la concluzia eronată că datările istorice cele mai precise, fără echivoc, ar putea fi obținute prin transformarea datelor radiocarbon, stabilite pe baza măsurării unor mostre ce reprezintă intervale de timp mai lungi (de exemplu, 100 de ani). Firește, o asemenea concluzie nu poate fi corectă. Mai exact: ar putea fi corectă numai în cazul, cu totul improbabil, în care fiecare an de dezvoltare ar fi reprezentat în mostră în aceeași măsură. De altfel, data obținută nu ar indica, nici în acest caz, o vârstă absolută propriu-zisă, ci numai o valoare medie!

În realitate, în mostrele ce întrupează o perioadă de dezvoltare mai îndelungată, nu este reprezentat în egală măsură fiecare an al întregului interval de timp. Evident, acest fapt va

influența rezultatul datării, bazat pe măsurarea radioactivității remanente: va face ca mostra să apară mai timpurie sau mai târzie, în funcție de preponderența, în componența sa, a substanțelor mai vechi sau mai recente. Fig.26 prezintă trei cazuri posibile în care toate mostrele, de origine diferită, cuprind același interval de timp de 100 de ani, dar, în cadrul acestei perioade, anii individuali de dezvoltare sunt reprezentați în mod diferit și, în consecință, va fi diferită și vârsta medie ponderată a mostrelor. În acest grafic litera T indică vârsta componentei celei mai recente (mai târzii) a mostrelor, deci începutul formării tuturor celor trei mostre poate fi fixat pe anul T + 100. Săgețile perpendiculare pe scala de timp cuprinsă între anii T și T + 100 indică vârsta medie ponderată a mostrelor marcate cu literele A, B, și C. În mostra A fiecare an de dezvoltare este reprezentat în mod egal, vârsta medie a acesteia este, astfel, T + 50 ani. Mostra B a fost prelevată dintr-un segment al trunchiului unui copac de 100 de ani, în care fiecare inel este considerat ca având aceeași lățime. În mostra în formă de sector, îngustându-se spre centrul, deci spre partea cea mai veche a trunchiului, predomină substanța mai recentă (formată mai târziu) și, în felul acesta, vârsta medie ponderată a acestei mostre va fi anul T + 29. În sfârșit, materialul mostrei C este turba, în care ratele de depunere au fost diferite înainte și după un *hiatus* de cca 40 de ani. În acest caz, pe baza vârstei medii ponderate a celor două fracțiuni diferite (C1 = T + 90; C2 = T + 17 ani), pentru mostra C, în ansamblu, vom obține vârsta medie ponderată totalizată de T + 50 ani. Vârsta istorică dedusă prin calibrarea datărilor radiocarbon a mostrelor prelevate din substanțe, dezvoltate într-o perioadă mai îndelungată, este, deci,

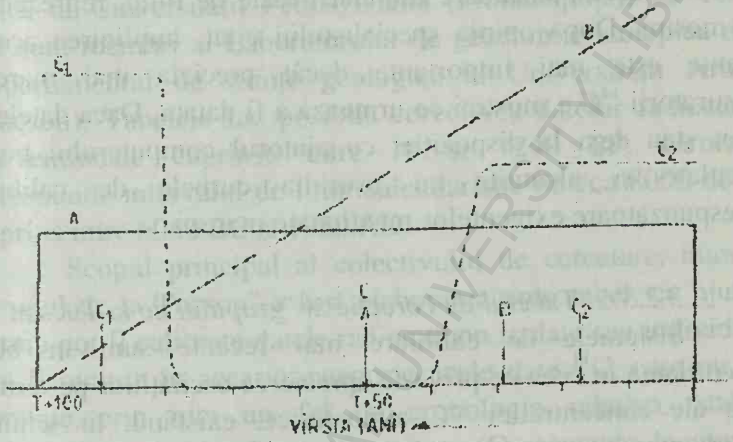


Fig. 26. Vârsta medie ponderata a trei mostre de origine diferita, care cuprind acelaşi interval de timp de 100 de ani. Explicaţia: în text. (Dupa W.G.Mook, 1983).

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

o valoare medie ponderată, care, cu toate că poate fi univocă, rămânem în nesiguranță în ceea ce privește vârsta reală a părților componente ale mostrelor. Potrivit concluziei lui Mook, cerința fundamentală a calibrării este aceea, ca pentru corectarea datelor radiocarbon să se folosească curbe de calibrare anume alcătuite, corespunzătoare întinderii reale de timp, reprezentată de mostre. După opinia specialistului citat, împlinirea acestei cerințe este mai importantă decât precizia mai mare a măsurătorii ^{14}C a mostrei ce urmează a fi datată. Dacă datele de 1 an stau deja la dispoziție, cu ajutorul computerului pot fi calculate și alcătuite cu ușurință curbele de calibrare corespunzătoare exigențelor menționate mai sus.

.3.2.3.5. *Tabelul de corecție al "grupului de la Tucson"*

Sistemele de calibrare mai recente sunt în buna concordanță în ceea ce privește aprecierea oscilațiilor pe termen lung ale concentrației ^{14}C atmosferice, existând, în schimb, importante deosebiri cu privire la interpretarea variațiilor pe termen mai scurt. Aceste deosebiri, ca și rezultatele obținute, nu o dată contradictorii, au alimentat neîncrederea, deja manifestată la unii arheologi, față de metoda radiocarbon și, în deosebi, față de calibrare. Pentru a risipi dubiile, la sfârșitul anilor '70 s-a părut că sosise timpul pentru coordonarea concepțiilor diferitelor laboratoare, pentru sintetizarea rezultatelor obținute, pentru elaborarea unui sistem de calibrare, general acceptabil. În acest spirit a luat ființă la Tucson (Arizona), în 1979, la inițiativa Fundației Științifice Naționale a Statelor Unite, acel colectiv de cercetare, care și-a fixat drept scop corectarea scalei de timp radiocarbon ("Workshop on the Calibration of the

Radiocarbon Dating Time Scale"). Rezultatele la care s-a ajuns, cuprinse în tabele de corecție, au fost publicate în octombrie 1982 în paginile revistei "Radiocarbon" de Jeffrey Klein, J.C. Lermann, P.E. Damon și E.K. Ralph. Primul și cel de al patrulea autor, menționat mai sus, este colaborator al departamentului de fizică al Universității Pennsylvania (Philadelphia), iar ceilalți doi sunt membri ai Laboratorului de geochimie izotopică de la Departamentul de științe geologice al Universității Arizona (Tucson). Tabelele fac posibilă corectarea datelor radiocarbon convenționale cuprinse între 10 și 7240 BP, cărora le corespunde intervalul de timp calendaristic de cca 8000 de ani, cuprins între 6050 BC și 1950 AD.

Scopul principal al colectivului de cercetare, numit și "grupul de la Tucson" a fost elaborarea unui tabel, cu ajutorul căruia pot fi calibrate datele radiocarbon izolate sau individuale. Pot fi incluse în această categorie acele date ^{14}C, care nu sunt corelate prin nici un fel de cronologie relativă, stabilită independent, de alte date radiocarbon. (O asemenea legătură de cronologie relativa există, de pildă, între datele radiocarbon, stabilite pe inelele de creștere ale copacilor, căci ordinea inelelor determină cu exactitate vârsta reciprocă, relativă, a mostrelor. De asemenea, poziția stratigrafică a mostrelor prelevate din situri cu mai multe straturi/niveluri de locuire determină cronologia lor relativă și indiferent de vârsta lor radiocarbon.) Sunt incluse printre datele radiocarbon izolate și acele serii de date, care au fost măsurate pe mostre considerate contemporane, precum și seriile având componente, ale căror raporturi de cronologie relativă sunt necunoscute.

Un alt obiectiv al grupului l-a constituit evaluarea realistă a preciziei datelor calibrate. În acest scop a fost necesar să se aibă în vedere mai mulți factori: precizia măsurării radioactivității remanente a mostrei (având în vedere nu numai statistica măsurării, dar și evaluarea gradului de reproductibilitate al unui rezultat dat, în urma măsuratorilor repetate efectuate în același laborator sau în alte laboratoare); precizia curbei de calibrare utilizate; conformația secvenței corespunzătoare a curbei.

Procedeul de calibrare se bazează pe măsurarea activității ^{14}C a 1154 mostre de lemn, datate cu precizie prin metoda dendrocronologiei: Fiecare mostră, prelevată, în principal, din exemplare de *Sequoia* și *Pinus aristata*, conținea cel mult 20 de inele, pentru a putea fi lămurite și oscilațiile de concentrație de gradul a 100 de ani. Conținutul de carbon-14 al mostrelor a fost măsurat în laboratoarele de radiocarbon a cinci universități: Arizona, Groningen, California, Pennsylvania și Yale. Întrucât unul dintre obiectivele grupului de lucru a fost acela de a examina natura și cauzele variabilității determinărilor cronologice radiocarbon, s-a analizat cu grijă, în ce măsură sunt în concordanță rezultatele obținute de fiecare laborator în parte. S-a constatat cu o oarecare surpriză că față de măsurătorile a patru laboratoare participante la acest proiect, care - având în vedere și nesiguranța experimentală - erau în bună concordanță, rezultatele celui de al cincilea laborator (La Jolla/California) au prezentat o deviație medie sistematică de cca 6 N , ceea ce corespunde unei deviații de vârstă de aproximativ 50 de ani radiocarbon. Deviațiile sistematice observate între laboratoare sunt prezentate în următorul tabel:

Laboratorul	Deviația medie exprimată în ‰ față de valoarea medie a deviației (D)
Arizona	+3,0 ± 1,7
Groningen	+2,7 ± 1,5
La Jolla	-3,2 ± 1,1
Pennsylvania	+3,4 ± 2,5
Yale	+3,2 ± 2,0

Fără a intra în detalii privind operațiile matematice și statistice care au permis elaborarea curbelor de calibrare și a tabelelor de corecție, menționăm că procedeul a fost realizat în trei etape. În prima a fost calculată curba ce exprimă tendința oscilațiilor pe termen lung, de mai multe milenii, ale concentrației C-14 atmosferice. În cea de a doua, scala timpului a fost împărțită în 28 de secvențe mai mici, suprapunându-se parțial (numite ingenios "shingle", adică șindrilă), în vederea studierii și descrierii mai amănunțite a oscilațiilor de mai scurtă durată, de câteva secole, ale concentrației de radiocarbon atmosferic. În sfârșit, pornind de la combinațiile funcțiilor obținute, au fost alcătuite tabelele de corecție propriu-zise.

În prima coloană a tabelelor (pe care le ilustrăm, alăturat, prin trei secvențe) sunt înșirate datele radiocarbon, determinate cu timpul de înjumătățire de 5568 ani, de la 7240 BP până la 10 BP, cu intervale de 10 ani, grupate câte cinci pentru a putea fi parcurse mai lesnicios. Astfel, primele cinci date radiocarbon, înșirate pe verticală, cuprinse în tabele, sunt 7240, 7230, 7220, 7210 și 7200 BP, iar după o "pauză" de un rând figurează următoarele cinci date: 7190, 7180, 7170, 7160,

7150 ș.a. (Fireşte, la utilizarea tabelelor, datele ^{14}C ce urmează a fi transformate în ani calendaristici trebuie să fie rotunjite la cel mai apropiat număr decimal.)

Date ^{14}C, ani BP (timp de înjumătăţire: 5568 ani)	Intervale de timp în ani reali (cu certitudine de 95%) corespunzătoare datelor ^{14}C convenţionale BP cu marjele de eroare de :					
	±20 ani	±50 ani	±100 ani	±150 ani	±200 ani	±300 ani
1	2	3	4	5	6	7
7240	-6545 -5625	-6555 -5615	5685 -5595	-6630 -5565	-6685 -5530	-6825 -5455
7230	-6535 -5615	-6545 -5610	-6570 -5590	-6615 -5555	-6675 -5520	-6815 -5450
7220	-6520 -5605	-6530 -5600	-6560 -5580	-6605 -5550	-6660 -5515	-6800 -5445
7210	-6510 -5595	-6520 -5590	-6545 -5570	-6590 -5540	-6650 -5510	-6790 -5440
7200	-6495 -5590	-6505 -5585	-6535 -5565	-6580 -5535	-6635 -5500	-6775 -5435
2240	-410 -170	-415 -165	-565 - 30	-760 10	-780 190	-850 235
2230	-405 -170	-410 -160	-555 - 25	-755 15	-780 195	-840 240
2220	-405 -165	-410 -155	-545 - 20	-750 25	-775 200	-830 240

1	2	3	4	5	6	7
2210	-400	-405	-525	-745	-775	-825
	-160	-155	- 15	30	205	245
2200	-400	-405	-420	-595	-770	-820
	-160	-45	-5	35	205	250
1040	890	880	790	650	620	565
	1050	1140	1215	1245	1275	1395
1030	895	885	800	655	620	570
	1055	1155	1220	1250	1280	1400
1020	900	890	860	660	625	575
	1130	1170	1225	1250	1290	1400
1010	900	890	865	665	630	575
	1145	1185	1230	1255	1305	1405
1000	905	895	870	680	630	580
	1160	1195	1230	1260	1315	1405

Trei secvenţe ale tabelelor de corecţie elaborate de "grupul de la Tucson".

În dreptul datelor radiocarbon, în şiruri orizontale, sunt trecute datele calendaristice ce le corespund, stabilite cu o siguranţă de 95% (deci cu o deviaţie standard de 2 σ). La calibrare trebuie luată în consideraţie precizia datei radiocarbon ce urmează a fi corectată: autorii indică date calendaristice diferite pentru datele ^{14}C măsurate cu o marjă de eroare de ±20, ±50, ±100, ±150, ±200 şi ±300 ani. Datele calibrate, corespunzătoare datelor radiocarbon de o anumită precizie, nu

sunt indicate sub forma unei deviații în ani ± în jurul unei valori centrale, ci sub forma câte unui interval de timp, limitat de cifre negative și/sau pozitive. (Cifrele negative indică anii BC, deci î.H., iar cifrele pozitive anii AD, adică d.H. Data -1/1, ce apare în unele tabele, indică anul de tranziție între 1 î.H. și 1 d.H.) De pildă, datei radiocarbon 7240 ± 20 BP îi corespunde intervalul de timp calendaristic situat între 6545 și 5625 BC (î.H.), iar datei 7240 ± 300 BP intervalul 6825 - 5455 BC (î.H.) Indicarea vârstei exprimate în ani "reali" sub forma unui interval de timp se justifică prin faptul că marjele de eroare sunt adesea asimetrice față de valoarea centrală.

Dacă deviația standard a datei radiocarbon ce urmează a fi calibrată este situată între marjele de eroare indicate în tabele, trebuie luată în considerație valoarea cea mai apropiată. Dacă, de exemplu, σ are valoarea între 0 și 35 ani, data calibrată trebuie căutată în coloana corespunzătoare deviației standard de ± 20 de ani. Valorile σ situate între 36 și 75, 76 și 125, 126 și 175, 176 și 250, 251 și 350 ani trebuie corelate cu celelalte cinci limite de eroare, cuprinse în tabele (±50, 100, 150, 200 și 300 ani). Autorii se opresc, special, asupra modalității de calibrare a datelor radiocarbon, a căror deviație standard depășește ± 300 de ani și, de asemenea fac referiri și la posibilitatea evaluării vârstei calendaristice a acelor date ^{14}C, care se situează în afara limitelor de timp, cuprinse în tabele. Menționăm, în sfârșit, că au fost întocmite și tabele complementare pentru calibrarea acelor date radiocarbon, mai recente de 1000 BP (indicate cu asterisc în tabelele principale), cărora pot să le corespundă mai multe intervale de timp calendaristic.

În ceea ce privește perspectivele calibrării, membrii "grupului de la Tucson" au considerat că prin măsurarea conținutului ^{14}C al mostrelor de lemn deja datate prin metoda dendrocronologiei în curând va deveni posibilă corectarea datelor radiocarbon până dincolo de anul 11.000 BP.

Este de menționat că, pesemne, nu ne putem aștepta ca determinările cronologice să devină mai precise prin calibrare: intervalul calculat în ani calendaristici adesea depășește cu mult limitele de eroare, apreciate la 2 σ, ale datei radiocarbon. Acest fapt este izbitor mai ales în cazul măsurătorilor ^{14}C de mare precizie (deci, al datelor cu deviația standard mică). Dacă dublăm deviația standard (la 2 σ) a datei ^{14}C 7240 ± 20 BP, menționată mai sus, obținem intervalul de timp de 80 de ani radiocarbon între 7280 și 7200 BP, în vreme ce datei inițiale - conform tabelului - îi corespunde perioada de timp calendaristic de 920 de ani, cuprinsă între 6545 și 5625 BC. Dacă procedăm la fel cu data 7240 ± 300 BP vom obține intervalul de timp radiocarbon de 1200 de ani, între 7840 și 6640 BP, iar în locul corespunzător al tabelului vom găsi perioada de timp calendaristic de 1370 de ani, între 6825 și 5455 BC. Intervalele de timp calendaristic corespunzătoare datelor radiocarbon mai târzii sunt, în general, mai scurte, vârstele "calibrate" mai recente sunt, astfel, de obicei, mai precise. Dacă, de pildă, dublăm deviația standard a datelor 2240 ± 20 și 2240 ± 300 BP, obținem intervalele de timp cuprinse între 2280 și 2200 BP, respectiv 2840 și 1640 BP, iar datelor respective le corespund intervalele de timp calendaristic de 240 de ani, între 410 și 170 BC, respectiv de 1805 ani, între 850 BC și 235 AD. La toate acestea mai trebuie adăugat și faptul că la datarea radiocarbon

calibrată a fenomenelor și descoperirilor arheologice trebuie avut în vedere *întregul* interval de timp calendaristic - oricât de lung ar fi acesta -, indicat în tabel pentru data ^{14}C originală, și nu numai un anumit punct (centrul de pildă) al acestuia, ales arbitrar. Dacă am proceda astfel, am comite aceeași greșeală ca și cei care, apelând la datarea radiocarbon convențională, trec peste marja de eroare, indicată prin deviația în ani ±, a datelor ^{14}C.

3.2.4. *Procedee de calibrare recomandate de comunitatea științifică internațională. Extinderea curbei de calibrare. Versiuni computerizate ale procedeelor de calibrare.*

3.2.4.1. *Introducere.* În iunie 1985 a avut loc la Trondheim (Norvegia) cea de a 12-a Conferință Internațională de Radiocarbon. În completarea actelor conferinței a fost editat un număr special (2B/1986) al revistei *Radiocarbon*, dedicat stadiului calibrării datelor ^{14}C. Comentând pe scurt cele 12 studii, cuprinse în volum, Minze Stuiver remarcă în editorialul său că, datorită acestor contribuții, care se referă la intervale de timp mai scurte sau mai lungi, mai apropiate sau mai îndepărtate, a devenit posibilă calibrarea datelor radiocarbon, relative la aproximativ ultimele zece milenii, perioadă pentru care există mostre de lemn (inele de arbori), datate dendrocronologic, completate, în unele cazuri, de sedimente datate prin cronologia varvelor (vezi fig.27). În cele ce urmează, vom discuta mai întâi cele două studii "îngemănate" elaborate de Minze Stuiver și Gordon W. Pearson, privitoare la corectarea datelor radiocarbon relative la perioada cuprinsă între AD 1950 și 2500 BC, referindu-ne apoi și la alte contribuții, dintre care unele acoperă același interval de 4500 de ani, în timp ce altele

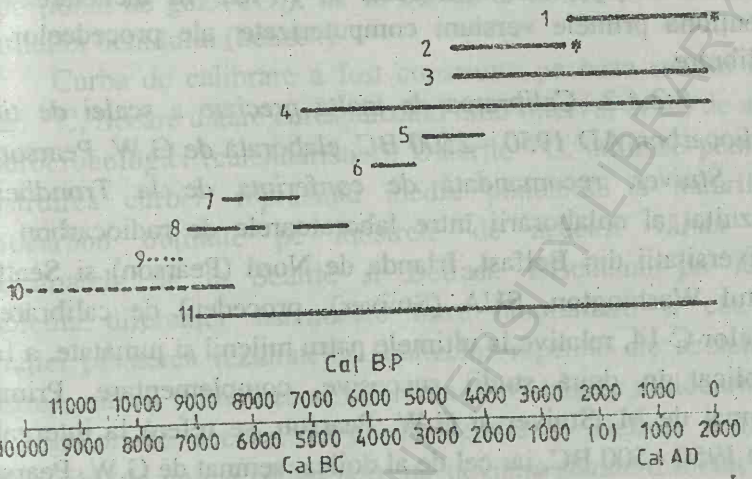


Fig. 27. Intervalele de timp pentru care au fost elaborate procedee de calibrare, prezentate în *Radiocarbon*, nr.28, 2B, 1986. 1: M.Stuiver şi G.W.Pearson; 2: G.W. Pearson şi M.Stuiver; 3: M. Stuiver şi B. Becker; 4: G.W. Pearson et al.; 5: J.C. Vogel et al.; 6: A.F.M. de Jong et al.; 7: T.W. Linick et al.; 8: B. Kromer et al.; 9: B. Becker şi B. Kromer; 10: M. Stuiver et al.; 11: M. Stuiver et al. (pentru mostre de origine marină). Liniile întrerupte marchează intervale bazate pe dendrocronologii flotante sau pe cronologia varvelor. (Informaţiile astfel obţinute sunt preliminarii.) Intervalele marcate cu asterisc indică procedeele de calibrare recomandate de Conferinţa internaţională de la Trondheim, 1985. (După Minze Stuiver, 1986).

permit calibrarea, chiar și preliminară, a datelor radiocarbon, anterioare mijlocului mileniului al III-lea. În încheiere vom menționa primele versiuni computerizate ale procedeelor de calibrare.

3.2.4.2. *Calibrarea de înaltă precizie a scalei de timp radiocarbon AD 1950 - 2500 BC, elaborată de G.W. Pearson și M. Stuiver, recomandată de conferința de la Trondheim.* Rezultat al colaborării între laboratoarele de radiocarbon ale universității din Belfast, Irlanda de Nord (Pearson) și Seattle, statul Washington, SUA (Stuiver), procedeul de calibrare a datelor C-14, relative la ultimele patru milenii și jumătate, a fost publicat în două studii succesive, complementare. Primul, semnat de M. Stuiver și G.W. Pearson, se referă la intervalul AD 1950 - 500 BC, iar cel de al doilea, semnat de G.W. Pearson și M. Stuiver, la perioada 500 - 2500 BC. Curbele de calibrare au fost alcătuite pe baza determinării vârstei radiocarbon, la Belfast și la Seattle, a câte unei serii de mostre de lemn, datate dendrocronologic, acoperind ultimii 4500 de ani.

Mostrele de lemn, măsurate la Seattle, provin din speciile pinul Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), care crește în zona Pacificului din nord-vestul Statelor Unite, arborele mamut (*Sequoiadendron giganteum*) din California, stejarul din seriile dendrocronologice sud-germane *Donau* ale lui Bernd Becker și, pentru un interval de timp limitat, stejarul irlandez. La Belfast toate măsurătorile au fost făcute pe lemn de stejar (*Quercus petraea* și *Quercus robur*), mostre provenind din exemplare ce crescuseră în Irlanda, Scoția și nordul Angliei. Mostrele măsurate au reprezentat perioade de creștere de 10 ani (Seattle), respectiv de 20 de ani (Belfast). În primul laborator, menționat

mai sus, măsurarea s-a făcut prin utilizarea contorului proporțional de gaz (CO_2), iar în cel de al doilea prin metoda scintilației lichidului (benzen).

Curba de calibrare a fost construită pe baza setului de datări ^{14}C, fiecare datare corespunzând unui interval de 20 de ani dendrocronologici (calendaristici). Datările ^{14}C, utilizate pentru construirea curbei, reprezintă media ponderată a datărilor radiocarbon obținute pe mostrele de aceeași vârstă în laboratoarele de la Seattle și Belfast. Discutând pe larg problema diferenței sistematice între laboratoare și cea a variației (abaterea rezultatelor analizelor repetate ale aceleiași mostre), autorii subliniază că diferența între datarea radiocarbon a mostrelor de aceeași vârstă la Seattle și Belfast a fost neglijabilă (de numai câțiva ani), iar deviația standard medie în determinările de vârstă radiocarbon pentru mostrele bidecadale fiind 18,5 ani la Belfast și 14,7 ani la Seattle (inclusiv coeficientul de eroare de laborator).

După cum s-a menționat mai sus, mostrele de lemn, folosite pentru construirea curbei de calibrare, au fost colectate din trei regiuni geografice specifice: Irlanda, Scoția și nordul Angliei; sudul Germaniei; coasta de vest, pacifică, a Statelor Unite. Autorii consideră că procedeul de calibrare elaborat poate fi folosit, totuși, pentru o arie largă a emisferei nordice. Mai mult, procedeul poate fi utilizat și pentru calibrarea datărilor ^{14}C, relative la mostrele originare din emisfera sudică, dacă se ține seamă de diferențele sistematice ce se observă între vârsta radiocarbon a eșantioanelor provenite din cele două emisfere ale globului. Întrucât vârstele ^{14}C ale mostrelor de lemn din emisfera sudică tind a fi mai ridicate cu trei-patru decenii,

autorii recomandă ca datele radiocarbon, relative la această zonă a globului, să fie reduse cu 30 de ani înainte de a fi convertite în vârste Cal AD/BC (BP).

Mai trebuie precizat că procedeul de calibrare, discutat aici, poate fi folosit pentru corecția vârstei radiocarbon a mostrelor, formate în echilibru izotopic cu dioxidul de carbon atmosferic. (Pentru calibrarea vârstei radiocarbon a mostrelor de origine oceanică au fost elaborate procedee de corecție speciale).

În ceea ce privește terminologia adoptată pentru scala de timp exprimată în ani dendrocronologici (calendaristici), alături de termenii deja obișnuiți Cal AD/BC, este introdus și termenul de Cal BP. Vârstele astfel exprimate sunt raportate la anul AD 1950, corespunzând anului 0 Cal BP. Raportul între vârstele Cal AD/BC, pe de o parte, și Cal BP, pe de altă parte este următorul: Cal BP = 1950 - Cal AD, respectiv, 1949 + Cal BC. Prin alternanța 1950/1949, determinată de lipsa anului 0 în cronologia AD/BC, la tansformarea datelor din acest sistem în ani Cal BP, se asigură trecerea fără ruptură de la anul 1 BC la anul 1 AD.

Transformarea unei date radiocarbon într-o dată calendaristică se poate face fie direct, utilizând curba de calibrare, fie cu ajutorul tabelelor, alcătuite în acest scop. Utilizând curba, datele calendaristice se stabilesc prin linii trasate (a se vedea, spre exemplu, fig.28, care prezintă calibrarea datelor radiocarbon 120 ± 20 BP și 2580 ± 100 BP). Pe axa verticală a graficelor construite în scopul calibrării sunt marcate, din 20 în 20 de ani, vârstele radiocarbon exprimate în ani BP, iar pe axa orizontală, tot din 20 în 20 de ani, vârstele reale

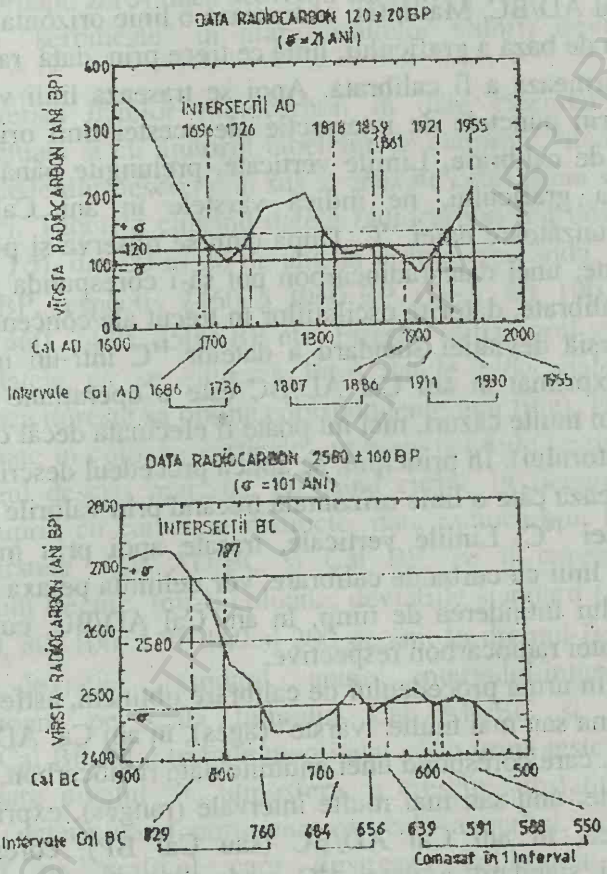


Fig. 28. Calibrarea datelor radiocarbon 120 ± 20 BP și 2580 ± 100 BP. (După Minze Stuiver și Gordon W. Pearson, 1986).

(calendaristice), stabilite prin dendrocronologie, exprimate în ani Cal AD/BC. Mai întâi, se trasează o linie orizontală, paralelă cu axa de bază a graficului, linie ce trece prin data radiocarbon care urmează a fi calibrată. Apoi se trasează linii verticale ce trec prin punctele de intersecție ale acestei linii orizontale cu curba de calibrare. Liniile verticale, prelungite până la axa de bază a graficului, ne indică vârstele în ani Cal AD/BC, corespunzătoare datei ^{14}C. După cum se observă și pe graficele alăturate, unei date radiocarbon pot să-i corespundă mai multe date calibrate, datorită oscilațiilor în trecut ale concentrației ^{14}C. Conversia deviației standard a datelor ^{14}C într-un interval de timp exprimat în ani Cal AD/BC este o operațiune complexă (care, în multe cazuri, nici nu poate fi efectuată decât cu ajutorul calculatorului). În principiu, se aplică procedeul descris mai sus. Se trasează câte o linie orizontală trecând prin valorile $+\sigma$ și $-\sigma$ ale datei ^{14}C. Liniile verticale, trasate apoi prin intersecțiile acestor linii cu curba de calibrare, vor delimita pe axa de bază a graficului întinderea de timp, în ani Cal AD/BC, corespunzătoare datei radiocarbon respective.

În urma procedeului de calibrare obținem, astfel, pe de o parte, una sau mai multe "vârste" (ages), în ani Cal AD/BC (sau cal BP), care corespund unei anumite date radiocarbon, și, pe de altă parte, unu sau mai multe intervale (ranges), exprimate, de asemenea, în ani Cal AD/BC (sau Cal BP), corespunzând deviației standard a datei ^{14}C respective. Posibilitatea ca o anumită dată calibrată să corespundă vârstei reale a mostrei este foarte variabilă între limitele intervalului/intervalelor de timp obținute. După opinia autorilor putem aștepta la probabilități mai mari în jurul datelor interceptate. Probabilitatea este redusă

(sau chiar aproape zero) dacă secvența corespunzătoare a curbei de calibrare "șerpuiește" în afara limitelor valorii deviației standard.

Conversia datelor radiocarbon în date calendaristice poate fi efectuata și cu ajutorul tabelelor de calibrare, alcatuite pe baza procedeului descris mai sus și anexate celor doua studii discutate aici. Tabelele cuprind datele radiocarbon (cu deviația standard de 1σ), din 20 în 20 de ani, în ordine crescândă, între 80 și 2440 BP, respectiv 2460 și 3960 BP. (Deci: 80, 100, 120 BP etc. și 2460, 2480, 2500 BP etc. Firește, utilizatorul are de interpolat datele ce se situează între datele bidecadale ale tabelelor, dacă dorește să obțină corespondențe mai fine). Datele sunt prezentate în coloane verticale, cu toate detaliile ce rezulta din procedeul descris mai sus, utilizând curba. În fiecare caz apare, deasupra, cu caractere distincte, data radiocarbon BP și "vârsta"/"vârstele" Cal AD/BC și Cal BP, ce îi corespund. Dedesubt sunt trecute, într-o coloană, deviațiile standard (σ) de ±20, 40, 60, 80, 100, 120, 160 și 200 de ani. În dreptul fiecarei valori a deviației standard apare intervalul/intervalele corespunzatoare pe scala timpului Cal AD/BC și (între paranteze) Cal BP. Mai trebuie menționat că în urma testelor cu arme nucleare nivelul ^{14}C atmosferic a crescut substanțial în anul 1955, determinând porțiunea verticală a curbei, care se observă și pe graficul care ilustreaza calibrarea datei radiocarbon 120 ± 20 BP. Interceptarile cu aceasta porțiune verticală, care dau vârste radiocarbon "negative", sunt indicate în tabele, în locul rezervat datelor calibrate, cu AD* și, respectiv O* BP.

Spre exemplificare prezentăm, sub forma în care apar în tabele, aceleași date, 120 BP și 2580 BP, cu care a fost ilustrată calibrarea directă, prin utilizarea curbei (fig.28. Aceste grafice arată calibrarea datelor radiocarbon 120 ± 20 și 2580 ± 100 BP. Intervalele corespunzătoare celorlalte valori ale deviației standard se stabilesc prin alcătuirea, pentru fiecare în parte, a unui grafic similar).

DATA RADIOCARBON 120 BP
DATE CALIBRATE: Cal. AD 1696, 1726, 1818, 1859, 1861, 1921, 1955*
Cal. BP 254, 224, 132, 91, 89, 29, O*

σ ±ani BP	Intervale Cal AD (cal BP)		
20	1686-1736 (264-214)	1807-1886 (143-64)	1911-1930 (39-20)
40	1679-1743 (271-207)	1802-1939 (148-11)	1955*
60	1672-1755 (278-195)	1796-1955* (154-O*)	1955*
80	1666-1955*(284-O*)		
100	1660-1955*(290-O*)		
120	1650-1955*(300-O*)		
160	1640-1955*(310-O*)		
200	1523-1565 (427-385)	1630-1955* (320-O*)	

DATA RADIOCARBON 2580 BP
DATA CALIBRATĂ: Cal BC 797
Cal BP 2746

σ ±ani BP	Intervale Cal BC (Cal BP)		
20	802-792(2751-2741)		
40	805-784(2754-2733)		
60	809-770(2758-2719)		
80	819-765(2768-2714)	673-667(2622-2616)	614-608(2563-2557)
100	829-760(2778-2709)	684-656(2633-2605)	639-550(2588-2499)
120	838-755(2787-2704)	700-540(2650-2490)	
160	900-480(2850-2430)	439-423(2388-2372)	
200	920-400(2870-2350)		

Se poate observa ca, in comparație cu metoda "grupului de la Tucson", procedeul elaborat de Pearson și Stuiver ofera mai multe detalii, corespondențe mai diferențiate intre vârstele radiocarbon și cele calendaristice. Toate acestea ne atentioneaza, daca mai era nevoie, cât de complexa este transformarea datelor radiocarbon în date calendaristice, cât de dificila este aflarea datei, respectiv a intervalului de timp, care corespunde vârstei reale a unei mostre.

3.2.4.3. *Curba de calibrare decadala, elaborata de M. Stuiver și B. Becker.* Se considera ca procedeul de calibrare bidecadală, recomandat internațional, prezentat mai sus, este de preferat în cele mai multe cazuri. Totuși, o curba de corecție,

bazată pe măsurarea unor mostre decadale, poate să fie utilă atunci când se dorește o calibrare cu mai multă finețe, în special a vârstei ^{14}C a unor mostre formate într-un interval de timp mai scurt. O asemenea curbă de calibrare decadală a fost elaborată de Minze Stuiver și Bernd Becker, pentru același interval de timp, AD 1950-2500 BC. (Curba în discuție este, de fapt, extinderea curbei elaborate inițial pentru intervalul AD; cf. *supra*, capitolul 3.2.3.2.) Pentru a putea compara rezultatele obținute prin cele două curbe, bidecadală și decadală, prezentăm mai jos calibrarea acelorași două date radiocarbon, 120 ± 20 BP și 2580 ± 100 BP, așa cum apar în tabelele lui M. Stuiver și B. Becker.

DATA RADIOCARBON 120 BP
DATE CALIBRATE: Cal AD 1693, 1722, 1812, 1859, 1869, 1921, 1955*
Cal BP 257, 228, 138, 91, 81, 29, O*

σ ±ani BP	Intervale Cal AD (cal BP)		
20	1684-1731 (266-219)	1808-1886 (142-64)	1913-1932 (37-18)
40	1677-1739 (273-211)	1804-1939 (146-11)	
60	1671-1747 (279-203)	1761-1770 (189-180)	1799-1955*(151-O*)
80	1655-1955*(285-O*)		
100	1660-1955*(290-O*)		
120	1650-1955*(300-O*)		
160	1640-1955*(310-O*)		
200	1525-1563 (425-387)	1630-1955*(320-O*)	

DATA RADIOCARBON 2580 BP
DATA CALIBRATĂ Cal BC 793
Cal BP 2742

σ ±ani BP	Intervale Cal BC (Cal BP)		
20	798-789(2747-2738)		
40	802-771(2751-2720)	669-664(2618-2613)	
60	806-767(2755-2716)	675-662(2624-2611)	
80	825-763(2774-2712)	681-659(2630-2608)	630-222(2579-2571)
	610-595(2559-2544)		
100	829-758(2778-2707)	687-657(2636-2606)	639-591(2588-2540)
	573-556(2522-2505)	457-454(2406-2403)	
120	888-884(2837-2833)	833-754(2782-2703)	690-540(2640-2490)
	529-523(2478-2472)	461-449(2410-2398)	
160	900-480(2850-2430)	470-430(2419-2379)	419-414(2368-2363)
200	970-962(2919-2911)	930-410(2880-2360)	

3.2.4.4. *Calibrarea datelor radiocarbon, anterioare mijlocului mileniului al treilea BC.* Calibrarea a datelor radiocarbon care se situează în afara intervalului de timp, la care se referă procedele de corecție, discutate mai sus, a devenit posibilă datorită unor măsurători ^{14}C de înaltă precizie, efectuate pe seturi de mostre formate înainte de 2500 BC și datate (cu unele excepții) prin dendrocronologie. Astfel, G.W. Pearson, J. R. Pilcher, M.G.L.Baillie, D.M. Corbett și F. Qua (Belfast), continuând preocupările prezentate în capitolul 3.2.3.3., au efectuat măsurători de mare precizie (cca. ±2‰) pe mostre decadale și bidecadale de lemn de stejar, provenite din seria

dendrocronologica irlandeza neîntreruptă. În felul acesta a putut fi realizată o curbă continuă, detaliată, care arată variațiile naturale în concentrația ^{14}C, petrecute între AD 1840 și 5210 BC, permițând calibrarea datelor radiocarbon până la aproximativ 7200 Cal BP.

Alte colective de cercetători au studiat fluctuațiile naturale ale nivelului ^{14}C pe intervale de timp mai scurte. J.C.Vogel, Annemarie Fuls, Ebbie Visser (Pretoria, Africa de Sud) și Bernd Becker (Stuttgart, Germania) au făcut analize ^{14}C de precizie, pe mostre de lemn de stejar, cuprinzând 1-4 inele anuale, provenite din seria dendrocronologică sud-central europeană, acoperind perioada cuprinsă între 1930 și 3100 BC. Curba de calibrare ^{14}C, derivată din aceste date (vezi fig.29), poate fi deosebit de utilă și pentru datarea mai exactă a Bronzului timpuriu din Orientul Apropiat, respectiv pentru îmbunătățirea cronologiei epocii istorice timpurii din această regiune (perioada dinastiilor I-XII în Egipt, a dinastiilor sumeriene și accadiene în Mesopotamia). A.F.M. de Jong, B.Becker și W.G.Mook, printr-o colaborare între Laboratorul radiocarbon al Universității din Groningen și Institutul de Botanică al Universității Hohenheim de la Stuttgart au făcut măsuratori pe secvențele Donau 7, 3, 10 și 12 ale seriei dendrocronologice sud-germane, obținând o curbă de calibrare de mare precizie pentru mileniul al IV-lea (3930-3230 BC, vezi fig.30). Timothy W. Linick, Austin Long, Paul E. Damon și C. Wesley Ferguson (Universitatea Arizona, Tucson) au făcut măsuratori ^{14}C de mare precizie pe mostre decadale de *Pinus aristata*, datate dendrocronologic între 6554 și 5300 BC, iar Bernd Kromer, Monika Rhein, Michael Bruns, Hildegard

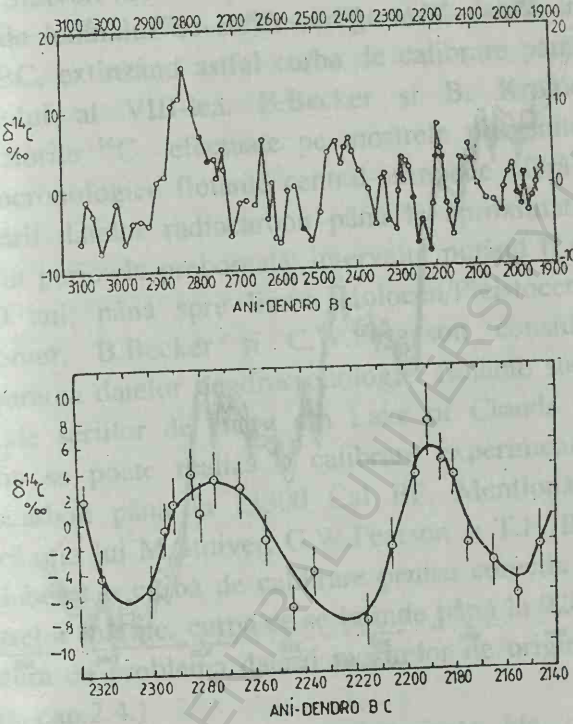


Fig. 29. Deviații de la trendul mediu al conținutului ^{14}C între 1930 și 3100 BC (sus). Fluctuații în conținutul ^{14}C între 2140 și 2320 BC (jos). (După J.C. Vogel, A. Fuls, E. Visser și B. Becker, 1986).

BCU / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

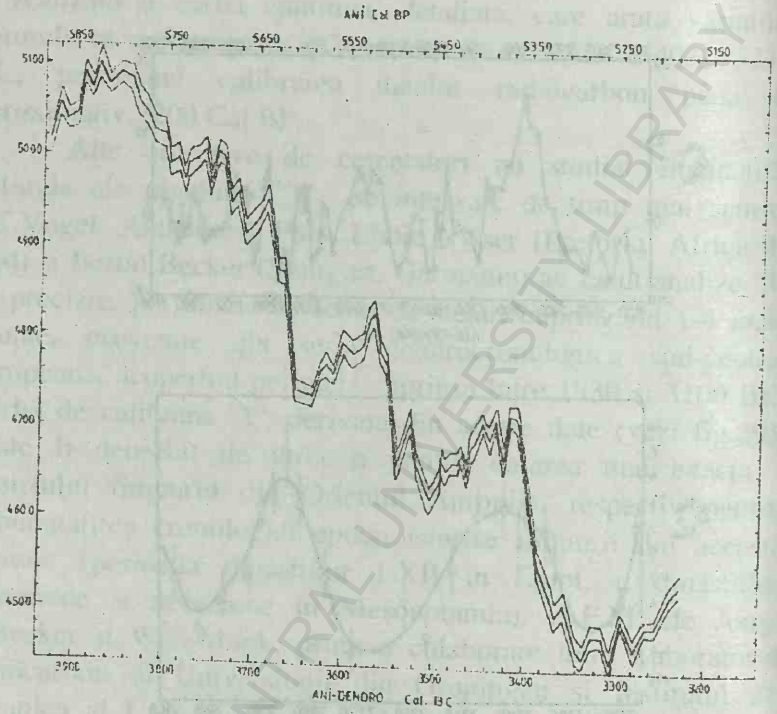


Fig. 30. Curbă de calibrare radiocarbon pentru perioada 3930-3230 Cal BC. Axa verticală corespunde intervalului de ani radiocarbon 4440-5120 BP. Liniile subțiri indică o eroare de 1s în statisticile de măsurare. (După A.F.M. de Jong, Bernd Becker și W. G. Mook, 1986).

BCU CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Schoch-Fischer, Karl Otto Münnich (Universitatea Heidelberg), Minze Stuivert (Seattle) și Bernd Becker (Stuttgart) pe serii de inele ale lemnului de stejar sud-german, datate între 4400 și 7200 BC, extinzând astfel curba de calibrare până la sfârșitul mileniului al VIII-lea. B.Becker și B. Kromer arată că măsurătorile ^{14}C efectuate pe mostrele provenite din seriile dendrocronologice flotante central-europene oferă posibilitatea calibrării datelor radiocarbon până la aproximativ 9800 BP, până în perioada preboreală, intervalul putând fi extins pe cca 11300 ani, până spre limita Holocen/Pleistocen. M.Stuiver, B.Kromer, B.Becker și C.W.Ferguson consideră că prin compararea datelor dendrocronologiei flotante sud-germane cu cele ale seriilor de varve din Lake of Clouds (SUA) și din Suedia se poate realiza o calibrare experimentală a datelor radiocarbon până la 13300 Cal BP. Menționăm, în sfârșit, contribuția lui M.Stuiver, G.W.Pearson și T.F. Braziunas, care au elaborat o curbă de calibrare pentru corecția vârstei ^{14}C a mostrelor marine, curbă ce se întinde până la 9200 Cal BP. (În legătură cu problema datării mostrelor de origine oceanică cf. *supra*, cap.2.4.)

3.2.4.5. *Versiuni computerizate ale procedeelor de calibrare.* Transformarea datelor radiocarbon în date calendaristice, aflarea celor mai probabile corespondențe între cele două scale ale timpului este o operațiune deosebit de complexă, punând adesea în dificultate "utilizatorul" neinițiat, indiferent dacă el încearcă să recurgă la calibrarea directă, cu ajutorul curbei, sau la folosirea tabelelor de corecție. Spre a depăși aceste dificultăți, cu care se confruntă mai ales

arheologii, specialiștii în domeniul cercetărilor radiocarbon au elaborat versiuni computerizate ale procedeelor de calibrare. Un asemenea program de calibrare (primul despre care avem cunoștință), elaborat de Minze Stuiver și Paula J. Reimer, a fost prezentat în 1986, în acel număr special al revistei *Radiocarbon* la care ne-am referit în paginile anterioare. Programul, trecut pe o dischetă floppy, putea fi achiziționat încă în acel an de la Laboratorul de Izotopi al Centrului de Cercetări Cuaternare al Universității Statului Washington de la Seattle. Versiunea inițială (1.0) a programului CALIB a fost revăzută în anul următor, rezultând versiunea 2.0, însoțită de instrucțiuni detaliate pentru utilizatori. Programul a fost elaborat pentru calculatoare IBM compatibile și punerea lui în aplicare presupune o anumită familiarizare a utilizatorului cu MS-DOS (Microsoft Disk Operating System).

Programul CALIB - transformă vârstele radiocarbon convenționale în vârste calibrate, determinând probabilitatea cu care datările obținute corespund vârstei reale a mostrelor. Intervalele de confidență oferite sunt de 68,3% (1 sigma) și 95,4% (2 sigma). CALIB stochează datele care stau la baza calibrării în "fișiere" (files) care sunt "citite" și afișate prin programul adiacent DISPLAY, spre a oferi într-o imagine vizuală, în litere, cifre și grafice, rezultatele calibrării (datarea în ani calendaristici, corespunzătoare vârstei radiocarbon a mostrei). Programul a fost alcătuit pe baza rezultatelor obținute în domeniul calibrării, prezentate în capitolele 3.2.4.1. - 3.2.4.4. Versiunea 2.0 oferă trei seturi de date ale curbelor de calibrare (calibration curve datasets), respectiv trei "fișiere". Utilizatorul va opta pentru unul dintre "files", în funcție de tipul și vârsta mostrei.

File 1 (ATM 10.14C). Conţine datele derivate din curba decadală elaborată de M. Stuiver şi B. Becker, valabilă pentru perioada cuprinsă între AD 1950 şi 2490 Cal BC (cca 4020 BP). Acest set de date este destinat calibrării cu mai multă fineţe a vârstei radiocarbon a mostrelor formate în echilibru izotopic cu CO_2 al atmosferei.

File 2 (ATM20.14C). Conţine date din curbele de calibrare bidecadale, acest set fiind recomandat pentru corecţia datării radiocarbon a celor mai multe mostre de origine terestră, a căror vârstă nu depăşeşte 7210 ani Cal BC (8200 BP). Porţiunea AD 1950-2500 BC are la bază curbele elaborate de M. Stuiver şi G.W. Pearson, respectiv G.W. Pearson şi M. Stuiver, recomandate internaţional. Celelalte secţiuni ale curbei de calibrare, până la 7210 Cal BC, au fost alcătuite pe baza contribuţiei deja menţionate a altor specialişti, după cum urmează: G.W. Pearson şi colab. (2500 BC - 5210 BC), T.W. Linick şi colab. (5219 BC - 5882 BC şi 6383 BC - 7199 BC, respectiv 5355 BC - 5815 BC şi 6089 BC - 6549 BC), M. Stuiver şi colab. (5685 BC - 5805 BC şi 6474 - 7198 BC), B. Kromer şi colab. (5229 BC - 6200 BC şi 6279 BC - 7207 BC).

File 3 (MARINE.14C) este un model pe calculator alcătuit pe baza curbei de calibrare bidecadală elaborată de M. Stuiver, G.W. Pearson şi T.F. Braziunas pentru mostrele marine, fiind luate în calcul şi informaţiile cuprinse în file 2. Acest set de date poate fi folosit pentru corecţia vârstei radiocarbon a diferitelor mostre de origine oceanică, cu o vechime de până în anul 7190 Cal BC (cca 8580 ani BP).

În sfârşit, programul mai cuprinde şi o combinaţie a curbelor de calibrare bidecadale, atmosferice şi marine,

destinată corecției vârstei radiocarbon mixt, de origine atât terestră (atmosferică) cât și marină. În acest caz, înainte de calibrare, este necesar să se determine procentajul de carbon de proveniență oceanică, prezent în mostră. Procedeul poate fi aplicat pentru același interval de timp la care se referă "fișierul" MARINE.14C.

Continuarea la sfârșitul anilor 1980 și la începutul anilor 1990, a măsurătorilor ^{14}C de precizie pe seriile dendrocronologice din Europa (Irlanda, Germania) și Statele Unite, la care se adaugă și rezultatele obținute prin alte metode de datare cum ar fi aceea de toriu-uraniu (^{230}Th - ^{234}U), a permis extinderea curbei de calibrare până la 21950 Cal BP. A devenit, astfel, posibilă corecția vârstei radiocarbon a mostrelor de origine terestră și oceanică datând nu numai din Holocen, dar provenind și din Pleistocenul final, respectiv din perioada mai târzie a Paleoliticului superior. Aceste rezultate au determinat, în același timp, și revizuirea programului de calibrare pe calculator, discutat mai sus, punându-se la punct, de aceiași Minze Stuiver și Paula J. Reimer, în 1993, a versiunii Rev 3.0.1. a programului CALIB. Acest program a fost prezentat în revista *Radiocarbon* (vol.35, 1993), fiind distribuit pe dischetă, împreună cu Instrucțiunile pentru utilizatori, de laboratorul deja menționat al universității din Seattle.

În funcție de natura mostrei, utilizatorul poate să opteze pentru unul din "meniurile" de seturi de date pentru calibrare, incluse în program.

Dataset 1 (file INTCAL93.14C) are la bază o curbă de calibrare bidecadală, alcătuită, în principal, pe măsurătorile efectuate de G.W. Pearson și M. Stuiver, respectiv, M. Stuiver

și G.W. Pearson (1993) pe mostre de lemn datate între AD 1950 și 500 BC, 500 BC și 2500 BC, 2500 BC și 6000 BC; de B.Kromer și B. Becker (1993) pe mostre de stejar și pin german, formate între 7200 BC și 9400 BC; de G.W.Pearson și colab. (1993) pe eșantioane de stejar german și irlandez, cu o vârstă între 5000 BC și 7890 BC; de Linick și colab. (1986) pe mostre de *Pinus aristata*, datate între 5350 BC și 6554 BC; și, în sfârșit, pe datările cu metoda toriu-uraniu și radiocarbon, efectuate pe corali de E. Bard și colab. (1993), acoperind perioada cuprinsă între 9450 BC și 20000 BC (11400 - 21900 BP), cu posibilitatea unei extinderi estimative până 28300 Cal BP.

Acest set de date este recomandat pentru calibrarea vârstei radiocarbon a celor mai multe mostre de origine terestră, formate în perioada cuprinsă între 0 și 18300 BP. Utilizatorul este avertizat că pentru intervalul 9840-11400 Cal BP setul de date se bazează pe o serie dendrocronologică flotantă, studiată de B. Becker și B. Kromer (1991), a cărei datare absolută nu este, astfel, încă definitivă.

Dataset 2 (file UWTEN93.14C) cuprinde datele calibrării decadale elaborată de M. Stuiver și B. Becker (1993) pentru perioada AD 1955 - 6000 BC (0-7950 cal BP). Acest set de date este recomandat pentru corectarea, cu mai multă finețe, a vârstei radiocarbon a mostrelor terestre, datate cu mare precizie ($\sigma < 30$ ani) și a căror vechime nu depășește 7210 ani BP.

Dataset 3 (file MARINE93.14C) servește la calibrarea datării radiocarbon a mostrelor de origine marină (oase de pești, scoici, corali etc.) având vârsta cuprinsă între 460 și 18760 BP. Acest set de date bidecadale a fost alcătuit, prin modelare pe

calculator, apelând la rezultatele lui Bard şi colab. (vezi Dataset 1), precum şi la contribuţiile lui M. Stuiver şi T.F. Braziunas (1993), privind studiul vârstei ^{14}C a mostrelor marine, vechi de până 10000 ani BC.

Dataset 4 are la bază o curbă de calibrare "combinată", alcătuită din seturile de date bidecadale, relative la mostrele terestre şi marine, şi este destinat corecţiei datărilor radiocarbon ale mostrelor care conţin carbon atât de origine terestră/atmosferică, cât şi de provenienţă acvatică/oceanică.

Oricât de minuţiuoase ar fi procedeele de calibrare, rezultatele lor depind, în mare măsură, de calitatea datărilor radiocarbon convenţionale care stau la baza lor şi care urmează a fi corectate. Iată de ce se acordă o mare atenţie, inclusiv în cazul calibrării computerizate, evaluării şi corectării erorilor ce se pot ivi în determinarea vârstei mostrelor. Utilizatorii programelor trebuie să ţină seamă şi de aceste aspecte, altminteri discutate deja pe parcursul lucrării noastre, asupra cărora revenim acum pe scurt, în contextul acestui capitol.

Este astăzi bine ştiut că deviaţia standard (σ), raportată de laboratoare odată cu determinarea vârstei radiocarbon a unei mostre, nu exprimă pe deplin nesiguranţa datării. S-a dovedit, de pildă, prin experienţe cu participare internaţională, că există o deviaţie sistematică, specifică fiecărui laborator în parte (vezi capitolul 2.6.), eroare adiţională care ar trebui eliminată înainte de a se recurge la programul de calibrare, în care nu a putut fi încorporată această corecţie. (Laboratoarele, cu erorile lor specifice, nu au fost nominalizate în urma experienţelor amintite.) Programul adaugă la deviaţia standard a monstrei (σs)

deviaţia standard a curbei de calibrare (σc) pentru a obţine sigma totală a vârstei radiocarbon, înainte de a o transforma într-o vârstă calibrată. Utilizatorul va decide dacă va opera cu aceasta, sau dacă va mări eroarea pentru a lua în calcul şi alte surse ale varianţei. El poate opta ori pentru aplicarea unui multiplicator de eroare de laborator (laboratory error multiplier) K, ori pentru adăugarea varianţei adiţionale de laborator (additional laboratory variance) f, inclusă în Set Option Menu. Multiplicatorul de eroare de laborator se stabileşte pe baza repetabilităţii generale a rezultatelor analizelor şi poate fi indicat de fiecare laborator în parte. (Vezi, de exemplu, pentru laboratoarele de la Belfast şi Seattle, capitolul 3.2.4.2) Valoarea pentru f, propus de R.M. Clark în 1975 în scopul datărilor radiocarbon de rutină, este de 50 de ani pentru mostrele formate în ultimele 27 de secole şi 60 de ani pentru mostrele mai vechi de 2700 de ani.

Una din condiţiile datărilor corecte este şi cunoaşterea conţinutului original de C-14 al mostrelor a căror vârstă radiocarbon urmează a fi determinată. Datorită fracţionării izotopului şi a aşa numitului "efect al rezervorului dinamic", concentraţia C^{14} a atmosferei, biosferei şi a apei oceanelor poate fi diferită. Devierea (exprimată prin valorile $\delta\ ^{13}C$ şi ΔR) poate da naştere unor vârste aparente, diferenţa faţă de vârsta "reală" putând atinge 400 de ani sau şi mai mult (vezi capitolul 2.4). Această sursă de eroare trebuie eliminată înainte de calibrare. Problema este mult înlesnită deoarece corecţia pentru fracţionarea izotopului a devenit o operaţiune curentă în determinarea vârstei radiocarbon convenţionale. Programul prevede, totuşi, şi această corecţie, dar numai pentru datele

furnizate de acele laboratoare (puține astăzi), care nu efectuează corecția pentru fracționarea izotopului, precum și în cazul datărilor publicare în literatura mai veche, neînsoțite de informații cu privire la normalizarea $\delta\ ^{13}C$.

Concentrația de C-14 a organismelor din mediu marin (scoici, pești, corali etc.) este determinată și de efectul de rezervor, cauzat de schimbul limitat de izotopi de carbon între atmosferă, suprafața și adâncul oceanelor. Corecția pentru diferența rezultată între vârsta radiocarbon "de rezervor" și cea "reală" (ΔR) este asigurată prin utilizarea Setului de date 3 al programului de calibrare, alcătuit anume pentru mostrele de origine marină. În ceea ce privește calibrarea vârstei radiocarbon a mostrelor provenite din mediu lacustru, se recomandă folosirea Setului de date 1 sau 2 (atmosferic), datorită ratelor de schimb izotopic comparabil de rapide. În acest caz este necesar, totuși, ca înainte de calibrare să se scadă din vârsta radiocarbon a mostrei diferența de vârstă cauzată de efectul de rezervor (ΔR).

Mostrele (precum oasele de om și de animale) care provin din organismul unor ființe care au avut o alimentație compusă atât din hrană de proveniență marină (pește, moluște, plancton etc.) cât și terestră (cereale și alte plante, animale ierbivore etc.) au o compoziție de carbon mixtă, de origine oceanică și atmosferică (terestră). În acest caz trebuie determinat, mai întâi, pe căi independente, procentajul de carbon marin din compoziția mostrei. Valoarea (ΔR) se determină ca și în cazul mostrelor marine. Pentru calibrarea vârstei radiocarbon a acestor mostre se va folosi Setul de date 4, "mixt".

După cum s-a menționat deja, procedeele de calibrare, inclusiv versiunile computerizate, pot fi folosite și pentru calibrarea vârstei radiocarbon a mostrelor provenite din emisfera sudică a globului, deși curbele de corecție utilizate au fost alcătuite pe baza măsurătorilor ^{14}C de mare precizie, efectuate pe mostre de lemn de vârstă cunoscută, colectate din câteva regiuni specifice ale emisferei nordice. Trebuie să se țină seama, totuși, de faptul că, în principal, din cauza amestecului izotopic incomplet, atmosfera emisferei sudice se caracterizează printr-un conținut de ^{14}C mai scăzut cu cca 0,5% față de cel al emisferei nordice, de unde rezultă o diferență de vârstă aparentă de cca 40 de ani, situație valabilă mai ales pentru epoca pre-industrială. Autorii programului recomandă, astfel, ca vârsta radiocarbon a mostrelor, originare din emisfera sudică, formate din carbon atmosferic, înainte de AD 1850, să fie redusă cu 40 de ani înaintea calibrării. Se apreciază, totdată, că în cazul mostrelor formate după anul AD 1850 diferența între vârsta radiocarbon a mostrelor originare din cele două emisfere ale globului este mai mică și poate fi neglijată.

Conform normelor internaționale, vârsta radiocarbon convențională a unei mostre se determină pe baza timpului de înjumătățire de 5568 ani, stabilit de Libby pentru izotopul ^{14}C. În cazul în care o mostră a fost datată folosind timpul de înjumătățire "nou", de 5370 ani, datarea trebuie recalculată înainte de a se recurge la calibrare. (Procedeul este următor: cifra reprezentând datarea în ani BP determinată cu timpul de înjumătățire de 5730 ani trebuie împărțită cu 5730/5568=1,029.)

Utilizatorul trebuie să știe, de asemenea, că vârstele radiocarbon "negative" ("post-atomice") nu pot fi calibrate cu

ajutorul programelor. Este vorba de datele radiocarbon determinate pentru mostrele ce s-au format după mijlocul anilor 1950, când nivelul ^{14}C al atmosferei a crescut brusc, datorită experienţelor cu arme nucleare (vezi şi capitolul 3.2.4.2).

Menţionăm, în încheiere, că, alături de versiunile computerizate ale procedeelor de calibrare, prezentate în acest capitol, au fost elaborate, în ultima vreme, şi alte programe de calibrare, utilizate, deocamdată, după cât se pare, pe o scară mai restrânsă. Specialiştii interesaţi au putut asista la demonstraţii privind lucrul cu programul de calibrare cu ocazia unui workshop special, organizat în cadrul celei de a 24-a întruniri anuale internaţionale "Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology" (Iaşi, 25-27 martie 1996).

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITARĂ

4. CÂTEVA RECOMANDĂRI PRACTICE

În paginile anterioare ale cărții (mai ales în capitolele 2.1 și 2.5.) ne-am referit la diferitele aspecte legate de materialele ce pot fi datate, de rolul mostrelor în precizia determinărilor cronologice. În cele ce urmează vom încerca, fără a le repeta, să recapitulăm, completăm și să sistematizăm aceste probleme spre a ușura misiunea arheologului care dorește să colecteze eșantioane, să obțină și să utilizeze date radiocarbon.

4.1. *Prelevarea și selecția mostrelor în cursul săpăturii.* O primă condiție a obținerii rezultatelor dorite este aceea ca mostra să fie reprezentativă pentru activitatea umană, fenomenul arheologic-istoric ori natural care urmeaza să fie datat. Mostrele trebuie să provină din complexe arheologice bine definite, din contexte stratigrafice determinate cu claritate pentru a evita prelevarea unor eșantioane contaminate sau amestecate cu materiale mai vechi sau mai recente. Arheologul trebuie să știe, ce problemă dorește să lămurească prin datarea mostrei și să evalueze gradul de asociere a acesteia cu fenomenul cercetat. Este recomandabil ca în același scop să se colecteze mai multe mostre și/sau să se preleveze cantități mai mari de materiale decât cele necesare pentru o singură datare. În felul acesta se va asigura materialul necesar pentru o eventuală datare adițională sau de control. Oricum, calitatea datei radiocarbon este strâns legată de masa de carbon avut la dispoziție pentru determinarea radioactivității remanente a mostrei. Mostrele subdimensionate, măsurate în contor după o prealabilă diluare cu carbon inactiv, vor duce la rezultate cu erori totdeauna mai semnificative.

Numai mostrele cu o masă de carbon suficient de mare şi de bună calitate pot fi folosite pentru datări cu înaltă precizie.

4.2. *Utilizarea ca mostre a unor descoperiri mai vechi.* Se admite astăzi că pot fi folosite pentru datare şi mostre provenite din săpături mai vechi, dacă acestea au fost efectuate cu acurateţe şi dacă se cunosc cu suficientă precizie condiţiile de descoperire a materialelor ce urmează să fie datate. În aceste cazuri este necesar să se stabilească, în prealabil, dacă materialele respective au fost supuse sau nu, în trecut, unor tratamente de conservare sau solidificare. Unii conservanţi se prepară pe bază de uleiuri şi, astfel, i se poate adăuga mostrei carbon "vechi". Alte substanţe au la bază materiale organice (cleiul de os sau alţi adezivi, de pildă) care conţin carbon recent. Fără cunoaşterea acestor date nu este posibilă pretratarea adecvată a mostrelor în laboratorul ^{14}C.

4.3. *Manipularea mostrelor după prelevare.* După ce au fost prelevate, eşantioanele trebuie tratate şi păstrate cu grijă până ce ajung în laboratorul de datare. Se va evita ca mostrele constând din materiale organice să fie deteriorate prin fermentaţie sau mucegăire; este indicată uscarea eşantioanelor (în etuvă, dacă este posibil) la temperatura de cca 50° C.

Mostrele trebuie ferite de orice amestec prin contact cu praful sau alte particule din mediul înconjurător, prin impregnare cu grăsimi, materiale adezive, de solidificare ori solvenţi organici, sau prin utilizarea unor ambalaje necorespunzătoare (textile, vată, piele, hârtie). Mostrele friabile trebuie manipulate şi ambalate cu grijă pentru a fi protejate de sfărâmare. Ca ambalaj pot fi folosite pungi sau folii de plastic, folii de aluminiu, cutii metalice sau de plastic, recipiente de

sticlă, toate bine închise (chiar sigilate). Ambalajul trebuie să fie rezistent pentru a asigura protecția mostrei în timpul stocării sau al transportului.

După ambalare, fiecare mostră va fi prevăzută cu o etichetă inconfundabilă și o fișă conținând, fără ambiguități, toate informațiile relative la eșantionul respectiv. În ceea ce privește proveniența, se va preciza denumirea, localizarea precisă (administrativă, geografică - latitudine, longitudine - și topografică) a sitului; poziția locului prelevării mostrei, în plan orizontal și vertical, în cadrul sitului (caroul, adâncimea); situarea stratigrafică exactă a vestigiilor din care a fost extras eșantionul, cultura, faza, complexul arheologic cărora le aparține; eventuale alte informații cu privire la condițiile de zacere și de prelevare ale mostrei. Este necesar să se precizeze, de asemenea, caracterul săpăturii (săpătură de amploare, de durată; sondaj; săpătură de salvare) și să se menționeze numele arheologului care a condus cercetările și a prelevat mostra. În sfârșit, se va indica nr. de ordine (raportat la sit) al mostrei, data prelevării și (dacă este cazul) scopul special, urmărit prin datarea eșantionului.

Dacă se preconizează un studiu botanic, zoologic sau de altă natură al materialului mostrelor, acesta trebuie efectuat înainte ca eșantioanele respective să intre în tratamentul laboratoarelor de datare radiocarbon.

După încheierea campaniei de săpături, dacă s-a colectat un material suficient de abundent, se poate proceda la o selecție a mostrelor prelevate, trimițându-se laboratorului de datare numai eșantioanele cele mai semnificative. Mostrele nepredate laboratoarelor vor fi păstrate pentru eventuale analize ulterioare,

în scopul verificării corectitudinii unor datări sau pentru rezolvarea unor probleme speciale. Pentru depozitarea mostrelor se va alege un loc uscat, rece și întunecat.

4.4. *Colaborarea între arheologii și specialiștii în datarea* ^{14}C este și ea o condiție importantă a obținerii unor rezultate mulțumitoare, cu atât mai mult cu cât în trecut au existat multe neajunsuri în această privința. Trebuie să se țină seama de faptul ca o bună determinare cronologică în urma măsurătorii ^{14}C a mostrelor va rezulta numai în cazul în care au fost luate în considerație atât aspectele arheologice cât și cele fizico-chimice, legate de datarea radiocarbon. Specialistul în datarea ^{14}C are dreptul sa cunoască toate detaliile relative la eșantionul luat în primire, iar arheologul are datoria să furnizeze toate informațiile solicitate. Laboratoarele de radiocarbon au întocmit chestionare - tip, care trebuie să fie completate de arheolog cu grijă și responsabilitate pentru fiecare mostră în parte. Formularea cu claritate, în mod deschis și reciproc, a problemelor ivite, cultivarea unui spirit de parteneriat și menținerea dialogului nu poate fi decât în avantajul ambelor părți și, în fond, garanția unor determinări cronologice cât mai apropiate de realitate.

4.5. *Cantități de materiale necesare pentru datare.* Pentru umplerea contorului, în funcție de dimensiunile și precizia acestuia, sunt necesare 1-6 grame de carbon pur. Pe de altă parte, trebuie să se țină seama de faptul că, în realitate, conținutul de carbon al materialului mostrelor este foarte variabil și că nu pot fi trecute cu vederea nici pierderile care intervin în diferitele etape ale operațiunilor de laborator. Prin urmare, este preferabil să avem cantități mai mari, decât masa minima indicata, evitând, în acest fel, un posibil eșec și

asigurând materialul necesar pentru o eventuală repetare a măsuratorii ^{14}C. (În lista de mai jos, cantitățile menționate între paranteze reprezintă - după expresia folosită de P.R. Giot și L.Langouet - "minimele minimelor", încă acceptate de unele laboratoare.)

Cărbune de lemn: 8-12 g (1g)

Lemn: 10-30 g (3g)

Turbă: 15-200 g (3g)

Os (prin colagen): 200-1000 g (100g)

Os ars: 25-200 g

Boabe de cereale carbonizate: 30-40 g

Cenușă, pământ cărbunos, sol, paleosoluri: 50-300 g sau, după caz, și mai mult

Diferite materiale organice (*pollen, țesături* din fibre de origine vegetală sau animală, *piele, pergament, hârtie, coajă de ouă*): 25-200 g

Materialele de origine predominant minerală trebuie să conțină cel puțin 1% carbon pentru a da rezultate valabile. Având în vedere acest criteriu, pentru datările radiocarbon sunt necesare următoarele cantități:

Depuneri de carbonați, corali: 40-50 g

Cochilii de moluște (prin carbonați): 40-100 g (5g)

Cochilii de moluște (prin conchiolină): 500-2500 g (200g)

Gheața (provenită din forajele efectuate în depozitele glaciare): 100 kg

Fier forjat: 1000-2500 g (500g)

Fontă: 100-150 g (30g)

Oțel: 300-500 g (150g)

Laboratoarele care datează o mare cantitate de mostre la comandă (cum este, de pildă, *Beta Analytic Inc.* din Miami, SUA, care analizează, în mod curent, peste 10000 de mostre pe an) solicită, de obicei, cantități mai mari de materiale. Iată, spre comparație cu datele menționate mai sus, câteva exemple privind cantitățile solicitate de laboratorul amintit din Florida. Se va specifica, mai întâi, masa recomandată, iar apoi (între paranteze) cantitățile minime admise. Cărbune de lemn: 30 g (1,7 g), lemn: 100 g (7 g), turbă: 100 g (15 g), os: 500 g (200 g), cochilii: 100 g (7 g), sedimente organice: 1-2 kg.

Firește, cantitățile menționate sunt valabile pentru tehnicile de datare radiometrice. Pentru tehnica AMS sunt suficiente cantități de ordinul miligramelor.

4.6. În *calcularea și maniera de prezentare a datelor radiocarbon* trebuie să se respecte convențiile acceptate și recomandate de comunitatea internațională ^{14}C. Astfel, vârstele radiocarbon convenționale se calculează pe baza timpului de înjumătățire de 5568 ani, cu deviația standard de 1s. Determinările cronologice trebuie însoțite de codul laboratorului, nr. de ordine al analizei și materialul mostrei datate. În cazul în care se recurge la corecția datelor radiocarbon convenționale, se va preciza procedeul de calibrare utilizat. Vârstele radiocarbon convenționale se vor exprima în ani BP. "prezentul" (anul "0") fiind anul 1950 AD/d.H. Anii b.c. exprimă vârsta mostrei tot în ani radiocarbon, scăzând cifra de 1950 din cifra care indică vârsta în ani BP. Sigla BC (sau Cal/CAL BC) se folosește exclusiv pentru indicarea datelor ^{14}C calibrate.

5. SPRE O CRONOLOGIE RADIOCARBON A PREISTORIEI ROMÂNIEI. LISTĂ DE DATE C - 14

5.1.Primele rezultate ale datărilor prin metoda radiocarbon, puse în circulaţie la începutul anilor 1950, au fost privite cu rezerve din partea multor arheologi, printre care şi renumitul profesor de la Universitatea din Heidelberg, Vladimir Milojcic. El a publicat, în 1957, în prestigioasa revistă *Germania*, un amplu studiu în care a luat o atitudine pe deplin critică faţă de aplicabilitatea datărilor radiocarbon în cercetarea preistorică. Milojcic a contestat chiar ideea ca această metodă să fie vreodată capabilă de a oferi rezultate credibile pentru cronologia absolută a vestigiilor şi fenomenelor arheologice anterioare apariţiei izvoarelor scrise.

Prima luare de poziţie a unui arheolog român, Vladimir Dumitrescu, exprimată în paginile revistei *SCIV*, în 1958, a fost, de asemenea, foarte rezervată, atitudine datorită, fără îndoială, şi autorităţii în domeniu a lui Milojcic. Citãm: "Trebuie să se facă încă multe experienţe şi trebuie îmbunătăţită metoda mai înainte ca ea să poată fi folosită pentru perioadele în care există izvoare scrise, cu care rezultatul să poată fi controlat. Iar pentru epocile anterioare, oricât se va perfecţiona metoda, ea nu va putea fi utilă, deoarece va da întotdeauna date medii, valabile pentru ştiinţele naturale, şi nu date istorice absolute". Atitudinea lui Milojcic şi a lui Dumitrescu era cu totul opusă poziţiei cunoscutului savant austriac, Richard Pittioni care, încă în 1957,

s-a declarat convins de însemnătatea datărilor radiocarbon pentru epoca preistorică a Europei, Asiei Anterioare şi a Africii de Nord.

Descoperirea, în 1961, a tăbliţelor de la Tărtăria, care sugerau existenţa unor contacte directe între civilizaţiile Orientului Apropiat şi anumite culturi neolitice din regiunea carpato-danubiană, a alimentat neîncrederea unor specialişti în privinţa valabilităţii metodei radiocarbon, datorită marelui decalaj de timp între cronologia istorică (mai joasă), sugerată de contactele amintite, şi datările radiocarbon (sensibil mai ridicate), propuse pentru aceleaşi fenomene ale preistoriei europene. Fără ca deosebirile de păreri între adepţii cronologiei "scurte" şi "lungi" să se fi aplanat, aplicarea tot mai largă, în arheologia mondială, a datărilor radiocarbon, a afectat, în mod firesc, şi cercetarea preistorică românească, pentru care a existat întotdeauna un real interes şi în lumea ştiinţifică internaţională.

5.2. Iniţierea investigaţiilor în acest domeniu este, în primul rând, meritul profesorului Vladimir Dumitrescu. Spre deosebire de colegul său de la Heidelberg, care nu a renunţat nici mai târziu la neîncrederea sa în cronologia radiocarbon, Vladimir Dumitrescu a avut tăria să revină asupra poziţiei sale iniţiale faţă de metoda ^{14}C. După obţinerea primelor zeci de datări radiocarbon (prin colaborare cu laboratoarele de la Berlin şi Groningen), el a realizat prima sinteză asupra cronologiei absolute a eneoliticului românesc, publicată simultan, în 1974, în paginile revistelor *Apulum* (în limba română) şi *Preistoria Alpina* (în limba italiană). Cele 37 de date, discutate de autor, se referă la cultura ceramicii liniare "cu capete de note muzicale", precum şi la culturile Boian-Spanţov, Hamangia III, Precucuteni

III, Gumelnița A_2, Sălcuța III, Cucuteni A și B, Cernavodă I. Scopul mărturisit al profesorului Vl. Dumitrescu a fost acela de "a vedea în ce măsură succesiunea general acceptată a culturilor eneolitice din România [...] este sau nu confirmată de datele C^{14} de care dispunem până acum pentru ele". Autorul ajunge, în cele din urmă, la concluzia că majoritatea datărilor C-14 concordă, în general, cu cronologia relativă stabilită pe baza stratigrafiei și a tipologiei, coroborarea, în continuare, a datelor oferite de diferitele metode de datare fiind singura în măsură de a deschide calea spre o cronologie absolută a civilizațiilor preistorice.

Cu câțiva ani mai târziu, datele prezentate și discutate de Vl. Dumitrescu au fost completate prin trei date radiocarbon noi, referitoare de așezarea de tip Cucuteni A_2 de la Mărgineni, publicate de Dan Monah (*SCIVA*, 1978). Potrivit concluziilor autorului "datele C^{14} obținute pentru faza Cucuteni A_2 nu numai că nu contrazic cronologia relativă stabilită prin metode tradiționale, ci o confirmă și o nuanțează". Dan Monah are nu numai meritul de a continua investigațiile cu privire la cronologia radiocarbon a culturilor Precucuteni și Cucuteni, dar și acela de a extinde aceste investigații și asupra ariei tripoliene. Remarcăm, în mod deosebit, studiul său prezentat la sesiunea științifică internațională, dedicată centenarului primelor descoperiri de la Cucuteni (Iași-Piatra Neamț, 1984), publicat în 1987. După o serie de observații privind aplicarea în arheologie a metodei radiocarbon, în general, autorul analizează 24 de date C-14, relative la complexul cultural Cucuteni-Tripolie, începând cu fazele Precucuteni II-III (Tripolie A) și terminând cu faza Cucuteni B_2 (Tripolie C_1). Potrivit estimărilor autorului, cele trei

faze ale culturii Precucuteni pot fi datate între 4200 şi 3700 b.c., faza Cucuteni A între 3700 şi 3200, Cucuteni A-B între 3200 şi 3000, iar Cucuteni B între 3000 şi 2600 b.c. În concluzie, Monah subliniază că "cele 24 de date radiocarbon existente pentru complexul cultural Cucuteni-Tripolie constituie, fără îndoială, o realizare utilă. Aceste date sunt însă insuficiente pentru o schiţă cronologică satisfăcătoare. De aceea, va trebui să se obţină noi date C^{14} şi să se procedeze la calibrarea lor; în acest fel se va putea realiza o schemă de cronologie absolută veritabilă şi valabilă, care va putea fi verificată şi prin alte metode şi tehnici de datare absolută".

În acelaşi an, 1987, a fost publicată cartea lui P.Breunig privind cronologia radiocarbon a neoliticului din Asia Anterioară, Europa de Sud-Est şi Centrală. În această lucrare au fost cuprinse şi 46 de datări ^{14}C relative la neoliticul, eneoliticul şi perioada de tranziţie la epoca bronzului din România, în contextul mai larg al cronologiei preistorice a Lumii Vechi.

5.3. Specialiştii citaţi mai sus au operat numai cu date radiocarbon convenţionale. (Este de notat că unii arheologi, Vl. Dumitrescu de pildă, au evitat cu bună ştiinţă datele calibrate, considerându-le prea înalte, alţii, ca D.Monah, s-au pronunţat în favoarea calibrării.) O iniţiativă în promovarea calibrării a avut chiar semnatarul acestor rânduri, în 1992, cu ocazia Simpozionului Internaţional de la Nessebur (Bulgaria), dedicat mileniului IV BC. Pornind de la cele 24 de date radiocarbon, adunate şi comentate de D.Monah în studiul său menţionat mai sus, am recurs la corecţia lor, utilizând tabelele de calibrare ale grupului de la Tucson, singurele avute atunci la dispoziţie

pentru mileniile VI-V BP. Am încercat să obţinem, în acest fel, o imagine posibilă a poziţiei în timp, pe scala anilor reali (calendaristici) BC, a civilizaţiei Cucuteni-Tripolie, spre a o poate corela cu alte fenomene naturale sau arheologice - istorice, datate în sistemul cronologic BC/AD. (În cazul simpozionului amintit tema centrală a discuţiilor a constituit trecerea de la Atlantic la Subboreal şi consecinţa acestei schimbări climatice asupra evoluţiei civilizaţiei.) Spre deosebire de datările radiocarbon convenţionale, avute în vedere de dr. D.Monah şi menţionate mai sus, pe baza sistemului de calibrare al grupului de la Tucson s-a putut aprecia că, aproximativ, faza Cucuteni A s-a situat în a doua şi a treia treime a mileniului V, faza A-B la sfârşitul mileniului V şi începutul mileniului IV, iar faza Cucuteni B în prima şi a doua treime a mileniului IV BC. Este de menţionat că, în 1987, pe baza informaţiilor comunicate de Hans Quitta, profesorul M. Petrescu-Dîmboviţa situa evoluţia culturii Cucuteni în funcţie de datele ^{14}C calibrate între 4500 şi 3200 BC. De asemenea, date calibrate apropiate de cele cuprinse în lucrarea noastră din 1992 pentru cultura Cucuteni-Tripolie au fost publicate, în 1991, şi de Marija Gimbutas.

5.4. Recent, cronologia absolută a neoliticului şi eneoliticului din România a fost tratată detaliat, într-un studiu special, de Cornelia Magda Mantu (*SCIVA*, 1995). Autoarea are nu numai meritul de a prezenta stadiul actual al datărilor radiocarbon pentru perioada şi spaţiul menţionate, dar şi acela de a introduce în circuitul ştiinţific un număr apreciabil de date ^{14}C noi, obţinute în mare măsură prin străduanii proprii. (Numai pentru culturile Precucuteni şi Cucuteni sunt analizate 20 de noi datări, obţinute în laboratorul de la Heidelberg. Printre acestea

se află şi patru datări efectuate pe mostre prelevate de noi, din nivelul al doilea al aşezării de la Malnaş-Băi - singurele datări radiocarbon existente în momentul de faţă pentru aspectul Ariuşd al culturii Cucuteni.) Cele 125 de date puse în discuţie (primele relative la epipaleolitic iar ultimele la perioada de tranziţie de la neolitic la epoca bronzului) au fost prezentate şi sub formă de tabele, însoţite de toate informaţiile indispensabile: locul de descoperire; cultura şi faza; laboratorul şi nr. buletinului de analiză; materialul mostrei; sursa informaţiei; datarea obţinută. În ceea ce priveşte datarea, C.M. Mantu indică nu numai vârsta BP şi b.c. (deci exprimată în ani radiocarbon), dar şi datele calibrate corespunzătoare, în ani calendaristici BC, cu probabilitatea de 68,3% (1 σ) şi de 95,4% (2 σ). În acest scop a fost folosit programul de calibrare (versiunea 2.0) elaborat de Minze Stuiver şi Paula J. Reimer. Autoarea atrage atenţia asupra faptului că există o mare discrepanţă în ceea ce priveşte, pe de o parte, numărul datărilor radiocarbon pentru neolitic, eneolitic şi perioada de tranziţie la epoca bronzului, iar pe de altă parte, în privinţa repartizării acestor date pe regiuni, culturi, faze şi etape, situaţie ce va trebui îmbunătăţită în viitor pentru a avea o imagine mai completă şi mai veridică asupra evoluţiei istorice din intervalul de timp cuprins între epoca mezolitică şi perioada de tranziţie la epoca bronzului.

În urma analizării datărilor radiocarbon existente pentru perioada studiată (având în vedere şi datele ^{14}C pentru culturile înrudite din regiunile învecinate), d-na dr. Mantu ajunge la concluzia că, în stadiul actual al cercetărilor, începutul neoliticului pe teritoriul României poate fi datat pe la 5300/5200 b.c. sau 6100 CAL BC. Această epocă durează până spre 4000

b.c./4700 CAL BC, dată care marchează, totdată, începutul eneoliticului. Sfârșitul acestei perioade din urmă poate fi stabilit în jurul datei de 2700/2600 b.c., respectiv 3650 CAL BC. Se atrage însă atenția asupra faptului că stabilirea sfârșitului eneoliticului/începutului perioadei de tranziție necesită încă noi precizări cronologice pentru a acoperi mai bine cele trei secole (3650-3350 CAL BC) pentru care nu dispunem de date suficiente. Ultima perioadă, discutată în studiu, cea de tranziție de la eneolitic la epoca bronzului, pare să se încheie pe la 2200 b.c. sau 2750 CAL BC. Această dată ar trebui să marcheze, prin urmare, și începutul epocii bronzului carpato-danubian.

5.5. Elaborarea unei cronologii radiocarbon a paleoliticului și epipaleoliticului/mezoliticului din România (ca și din alte regiuni, de altfel) a debutat cu o oarecare întârziere datorită dificultăților datării unor mostre foarte vechi. Primele cercetări în acest domeniu se datorează lui Alexandru Păunescu și privesc, în principal, cultura tardenoisiană și cea Schela Cladovei (*SCIVA*, 1984; *Ripiceni-Izvor*, Studiu monografic, 1993). După părerea lui Al. Păunescu, cultura Schela Cladovei (epipaleolitic/mezolitic) a evoluat între sfârșitul mileniului IX și prima jumătate a mileniului VIII BP, ceea ce ar corespunde, aproximativ, după datele calibrate puse la dispoziție de C.M. Mantu, cu intervalul cuprins între începutul și mijlocul (poate chiar a doua jumătate) a mileniului VII BC.

5.6. Un întreg program de datări radiometrice, a vizat, în special, stațiunea paleolitică de importanță europeană de la Mitoc - Malu Galben, jud. Botoșani (săpături conduse de

dr.Vasile Chirica). Alături de strădaniile conducătorulu săpăturilor arheologice de la Mitoc, merită să fie menționat aic programul inițiat de dr. Kenneth Honea, de la Northern Illinoi University De Kabb (Illinois, SUA). Acest program a avut c obiectiv principal datarea transformărilor culturale succesiv petrecute în evoluția acestei stațiuni de la mousterian l aurignacian și de la aurignacian la gravettianul oriental Programul a fost extins și asupra altor situri, dintre care s remarcă, prin numărul de datări radiocarbon obținute, mai ale stațiunile de la Ripiceni-Izvor, jud. Botoșani (săpături dr. Al Păunescu), pentru aurignacian, și Broșteni - Peștera Cioarei, jud Gorj (săpături dr. Marin Cîrciumaru), pentru paleoliticul mijlociu. Recoltarea probelor a început, la Mitoc, în 1982, ia mostrele au fost analizate în laboratoarele Geochron de la Cambridge (Massachusetts, SUA), primele rezultate fiind publicate în 1984. Întrucât datările obținute la Geochron nu s-au dovedit suficient de precise, în continuare s-a apelat la serviciile prestigiosului laborator de la Groningen, din Olanda. Concomitent, laboratorul de Oxford, din Marea Britanie, a început să dateze unele mostre prelevate din cele mai importante niveluri de locuire de la Mitoc prin acceleratorul spectrometric de masă (AMS), acestea fiind primele determinări cronologice obținute prin această metodă pentru preistoria României. Rezultatele programului de datare au fost publicate succesiv, în mai multe studii și articole, toate cele 70 de datări obținute până în anul 1989 inclusiv fiind cuprinse și comentate în două lucrări ale d-lui dr. Honea (*Arheologia Moldovei*, 1994; *Memoria Antiquitatis*, 1995; cu menționarea publicațiilor anterioare. Suntem datori să consemnăm că studiul din *Arheologia Moldovei* este însoțit de următoarea notă a redacției: "Deoarece

redacția păstrează unele rezerve privind opiniile și argumentația d-lui Kenneth Honea. urmează ca într-o notă ulterioară acestea să fie date publicității; până atunci cititorul este îndemnat să evalueze prezentul studiu cu prudența cuvenită"). În tabelele care însoțesc cele două lucrări, toate datele sunt indicate în ani radiocarbon BP, căci nu s-a putut recurge încă la calibrarea acestora. Pe lângă modalitatea obișnuită a prezentării datelor radiocarbon, cu marja lor de eroare ±, a fost calculată și "seria", adică intervalul de timp (*range*) în care se încadrează vârsta mostrelor.

Cele mai timpurii datări obținute pentru paleoliticul mijlociu de la Broșteni - Peștera Cioarei, obținute în laboratorul de la Groningen sunt în jur de 55.000 ani BP, ceea ce este un rezultat remarcabil dacă avem în vedere faptul că limita maximă de datare prin radiocarbon, cu o instalație tipică și în condiții optime, este apreciată, astăzi, de a fi aproximativ 50.000 de ani. (Este necesar să precizăm că datările pentru stațiunea de la Broșteni sunt jalonate pentru oscilațiile paleoclimatice și nu pentru nivelurile arheologice, ceea ce explică semnele de întrebare, prezente în tabelele alăturate, în locul rezervat epocii, culturii și fazei reprezentate de mostra analizată.)

Cele mai timpurii datări pentru aurignacianul de la Mitoc (în jur de 32.000 BP) sugerează, în viziunea lui K. Honea, că, în cursul celui de al doilea stadiu al ultimei glaciațiuni, între 37.000 și 32.000 BP, a avut loc o tranziție locală de la paleoliticul mijlociu la paleoliticul superior, ceea ce constituie, totdată, o dovadă pentru o trecere policentrică între cele două perioade menționate ale paleoliticului. Datările obținute pentru ultimele două niveluri aurignaciene de la Mitoc indică intervalul

cuprins între cca 32.000 şi 29.000 BP, iar cele mai multe datări pentru nivelul de locuire gravettian timpuriu din acest sit indică o vârstă de 27.000/26.000 BP. Astfel, între sfârşitul locuirii aurignaciene (29.000) şi începutul celei gravettiene (27.000) nu pare să existe o diferenţă de timp considerabilă. Prin urmare, nimic nu îndreptăţeşte ideea unui hiatus semnificativ între cele două culturi ale paleoliticului superior, ci, mai degrabă, se poate vorbi de o tranziţie între ele. Trecerea locală de la aurignacian la gravettian pare să se dateze, după Honea, către mijlocul ultimului interstadial (oscilaţia Ohaba B - Stillfried B). În sfârşit, pe baza datărilor existente se poate admite că locuirea gravettiană a încetat la Mitoc (ca şi în multe alte aşezări din România, Polonia, Ucraina etc., pentru care avem la dispoziţie determinări cronologice) pe la 20.000 BP, în perioada de maximă răcire a climei din ultimul stadiu al Pleistocenului (Valdai Maximum), vreme în care pare să fi avut loc o depopulare în Europa de Răsărit. Aşteptăm ca aceste concluzii să fie verificate, completate şi nuanţate de noua serie de datări radiocarbon, pe cale de a fi obţinută prin strădaniile d-lui dr. Vasile Chirica şi ale echipei belgiene, în frunte cu prof.dr. Marcel Otte (Universitatea din Liège), cu care colaborează.

5.7. Dacă pentru intervalul de aproximativ 50 de milenii cuprinse între paleoliticul mijlociu şi perioada de tranziţie de la eneolitic la epoca bronzului dispunem astăzi de un număr de datări radiocarbon, în parte calibrate, care permit nu numai schiţarea unei cronologii absolute radiometrice a acestor perioade, dar şi formularea unor concluzii istorice, studiul perioadelor mai târzii ale preistoriei României nu beneficiază

încă de această posibilitate. Avem cunoştinţă, totuşi, de unele demersuri în această privinţă. Colegul Horia Ciugudean de la Muzeul Unirii din Alba Iulia ne-a informat, de pildă, că alături de cinci mostre, prelevate din nivelul Coţofeni III al aşezării de la Poiana Ampoiului (jud. Alba), trimise spre analiză la laboratoarele din Zürich şi Berlin, urmează să fie datate în acest laborator din urmă şi patru probe provenite din aşezarea de la Livezile, jud. Alba, relative la epoca timpurie a bronzului din Transilvania. De asemenea, d-na Lidia Dascălu, de la Muzeul Judeţean Botoşani, dispune de un număr de datări radiocarbon pentru cultura Noua din nord-estul Moldovei, datări care nu au putut fi introduse şi discutate în prezenta carte.

Menţionăm, totuşi, că în urmă cu câţiva ani, pornind de la 15 datări ^{14}C, relative (cu trei excepţii) la culturile Noua-Sabatinovka şi Belozerka, publicate sau puse la dispoziţie de colegii din Rusia şi Ucraina de astăzi, am încercat să analizăm, printre altele, în ce măsură este compatibilă cronologia radiocarbon, convenţională şi calibrată, cu cronologia tradiţională (istorică) a culturilor de la sfârşitul epocii bronzului şi începutul epocii fierului din regiunea nord-vest pontică. (*Culture et Civilisation au Bas-Danube* 1993 *AŞUIaşi*, 1993/1995). Pentru calibrarea datelor radiocarbon convenţionale am apelat atât la tabelele de corecţie ale grupului de la Tucson, cât şi la sistemul de calibrare al lui Pearson şi Stuiver. Pe baza seriei de şase datări ^{14}C, obţinute pe mostre prelevate din stratul II al aşezării de la Mahala, de lângă Cernăuţi (săpături Gallina I. Smirnova, St. Petersburg), am reuşit să conturăm următoarea imagine asupra evoluţiei culturii Noua. Potrivit datelor radiocarbon convenţionale, aceasta cultură ar fi durat aproximativ trei secole, între sfârşitul sec. X

și începutul sec. XI b.c., dacă avem în vedere și marja de eroare a datelor, sau doar cca un veac și jumătate, între sfârșitul secolului XV și prima jumătate a secolului XII b.c., dacă avem în vedere doar valorile centrale ale datărilor. Datele calibrate prin metoda grupului de la Tucson (calculate cu o deviație standard de 2 s) indică pentru cultura Noua un lung interval de aproape șapte secole, între începutul sec. XVIII și sfârșitul sec. XII CAL BC. Dacă apelăm la sistemul lui Pearson și Stuiver (conform căruia datele sunt calculate cu o deviație standard de 1 s), cultura Noua poate fi datată între prima jumătate a secolului XVII și sfârșitul secolului XIV, având o durată de cca 350 ani. Se poate observa că datările radiocarbon convenționale, exprimate în ani b.c., sunt în destul de bună concordanță cu datările elaborate pentru cultura Noua prin metodele proprii arheologiei preistorice și exprimate, obișnuit, în ani î.H. Calibrarea făcută prin metoda grupului de la Tucson prelungește durata culturii Noua cu peste 300 de ani reali BC față de durata ei în ani radiocarbon b.c., dar această prelungire este "unidirecțională": ea afectează numai data de început a culturii, sfârșitul ei coincizând aproape perfect în amândouă sistemele. (La aceeași observație a condus și analiza seriei de date relativă la cultura Belozerka.) Reprezentate grafic, datele calibrate după metoda Pearson-Stuiver reproduc aceleași raporturi constatate și între datele radiocarbon convenționale. Din acest punct de vedere, sistemul de calibrare Pearson-Stuiver reflectă cu mai multă fidelitate realitățile arheologice, existând, totuși, o deosebire deloc neglijabilă: întreaga existență a culturii Noua (respectiv a așezării Mahala II) ar trebui "îmbătrânită" cu cca 250 de ani reali, ea situându-se, potrivit acestui sistem de

calibrare, între începutul secolului XVII şi sfârşitul secolului XIV î.H., având o durată de cca 350 ani. Putem remarca, în încheiere, că, pentru începutul culturii Noua, amândouă sistemele de calibrare la care am apelat, indică date foarte timpurii, care nu pot fi susţinute, deocamdată, prin argumente arheologice. În ceea ce priveşte sfârşitul culturii, datele ^{14}C corectate prin metoda grupului de la Tucson (ca şi datele radiocarbon convenţionale, de altfel) sunt apropiate de datările stabilite pe cale arheologică, în timp ce datele sistemului de calibrare ale lui Pearson şi Stuiver sunt mult prea înalte în comparaţie cu datarea prin mijloace tradiţionale a culturii Noua. Reamintim aici că, datorită precizărilor care s-au făcut în ultimul timp cu privire la cronologia bronzului târziu egeean, ca şi a evidenţierii unor legături dintre spaţiul carpato-danubiano-pontic şi lumea egeeană, pare astăzi plauzibil că perioada de existenţă a culturii Noua-Sabatinovka-Coslogeni, cel puţin în unele regiuni ale ariei sale, s-a putut prelungi până spre (eventual chiar dincolo de) sfârşitul secolului al XII-lea î.H. Nepotriviri între datările radiocarbon (încă relativ puţine) şi cronologia arheologico-istorică au fost remarcate şi în legătură cu alte vestigii protoistorice din Europa. Ar fi de dorit ca în viitor să fie extinsă datarea prin metoda radiocarbon a monumentelor arheologice aparţinând epocii bronzului şi a fierului, epoci pentru care există, într-o măsură incomparabil mai mare decât pentru eneolitic, de exemplu, posibilitatea comparării cu datele cronologiei istorice, devenind posibilă, astfel, o mai bună evaluare a credibilităţii datărilor ^{14}C.

5.8. **Lista de date radiocarbon,** prezentat în continuare, cuprinde toate datările ^{14}C (200 la număr) care au ajuns la cunoştinţa noastră până la încheierea manuscrisului. Întocmirea ei a fost mult înlesnită de lucrările speciale (inclusiv tabelele şi listele) publicate anterior în acest domeniu şi menţionate mai sus, cu deosebire studiile recente ale lui K. Honea (pentru paleolitic) şi C.M. Mantu (pentru neolitic şi eneolitic). Pe baza datelor cuprinse în tabelele noastre cititorul interesat va putea găsi în aceste lucrări sursa iniţială a fiecărei datări radiocarbon, pentru care noi nu am mai rezervat aici o rubrică specială. Tabelele cuprind doar datele esenţiale: proveniența mostrei (locul de descoperire); epoca, cultura, faza reprezentate; laboratorul şi numărul buletinului de analiză al mostrei; materialul investigat. În ceea ce priveşte modul de prezentare a rezultatelor, pentru epoca paleolitică se precizează, în ani radiocarbon BP, atât data însoţită de deviaţia standard ±, cât şi intervalul de timp, corespunzător vârstei mostrei. Începând cu epoca mezolitică (epipaleolitică) a devenit posibilă şi calibrarea datării radiocarbon a mostrelor. Prezentăm, astfel, alături de datarea în ani radiocarbon (BP şi b.c.) şi datele calibrate (în ani CAL BC), cu deviaţia standard de 1 şi 2 s, conform sistemului Stuiver-Reimer. În prezentarea datelor am respectat modul în care au fost publicate, făcând, totuşi, acolo unde a fost posibil, unele completări, pentru a uniformiza lista. De pildă, dacă datarea a fost publicată numai în ani BP, noi am calculat şi datarea în ani b.c. (şi invers), am calculat unele intervale etc. Toate completările noastre au fost culese *cursiv*.

Prescurtări:

A. *Laboratoare:* Bln - Berlin, BM = British Museum; Deb = Debrecen, GrN = Groningen, GX = Geochron, HD = Heidelberg, KN = Köln, LJ = La Jolla (California), OxA = Oxford Radiocarbon Accelerator Unit; SMU = Southern Methodist University (Dallas, SUA).

B. *Materiale* folosite pentru datare: A = corn de cerb; B = os; Bb = os ars; Bg = cereale arse; C = grâu; Ch = cărbune de lemn; G = grăunțe; W = lemn.

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

LISTĂ DE DATE RADIOCARBON

Nr. crt.	Locul de descoperire	Epoca Cultura/ faza	Lab./ Nr. ordine	Mat	Rezultate BP	
					Data	Intervalul
1	2	3	4	5	6	7
1	Mitoc-Malu Galben	**Paleolitic** Gravettian	GX-9423	Ch	17300 +2100 -1670	19400-15650
2	Bistricioara Lutărie	Gravettian	GX-8730		19055 ± 925	*19980-18130*
3	Bistricioara Lutărie	Gravettian	GrN-10528		19150±350	*19500-18800*
4	Crasnaleuca	Gravettian	Bln-1443		19460±220	*19680-19240*
5	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GX-9429	B	19900 +1050 -950	20950-18950
6	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GX-8724	Ch	19910 ± 990	20900-18920
7	Mitoc-Malu Galben	Alluvium (necultural)	GrN-13765	B	20150 ± 210	20360-19940
8	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-14031	Ch	20300 ± 70	20370-20230
9	Bistricioara Lutărie	Gravettian	GX-8726		20300±1300	*21600-19000*

1	2	3	4	5	6	7
10	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GX-8503	Ch	20945 ± 850	21795-20095
11	Bistricioara Lutărie	Gravettian	GX-8729		20995±875	21870-20120
12	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GX-9424	B	>21000	1SD
13	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GX-9420	Ch	22050±1250	23300-20800
14	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-15448	Ch	23000[1SD >28500+ 5900/-3400]	(2SD)
15	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-13006	B	23070 ± 180	23250-22890
16	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GX-8725	B	23100 [1SD >28700]	(2SD)
17	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-15805	B	23490 ± 280	23770-23210
18	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15050	B	23570 ± 230	23800-23340
19	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	OxA-1779	B	23650 ± 400	24050-23250
20	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-14034	Ch	23830 ± 330	24160-23500
21	Mitoc-Malu Galben	Aurignacian (neregulat; deranjat)	GrN-15457	Ch	24400 +2200 -1700	26600-22700

1	2	3	4	5	6	7
22	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GX-9422	Ch	24620 ± 810	25430-23810
23	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	OxA-1780	B	24650 ± 450	25100-24200
24	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	OxA-2033	B	24800±430	25230-24770
25	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GX-9425	Ch	24820 ± 850	25670-23970
26	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-14036	Ch	25140 ± 210	25350-24930
27	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15045	B	25330 ± 240	25570-25090
28	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-14913	Ch	25330 ± 420	25750-24910
29	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-15450	Ch	25610 ± 220	25830-25390
30	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-15808	B	25840 ± 90	25930-25750
31	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15051	B	25900 ± 120	26020-25780
32	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-15456	Ch	25930 ± 450	26380-25480
33	Mitoc-Malu Galben	Gravettian (sub coliba de mamut)	GrN-15449	Ch	26100 ± 800	26900-25300
34	Mitoc-Malu Galben	Gravettian (solifluct)	GrN-15451	Ch	26530 ± 400	26930-26130

1	2	3	4	5	6	7
35	Mitoc-Malu Galben	Gravettian (pandantiv)	GX-9418	Ch	26700±1040	27740-25660
36	Mitoc-Malu Galben	Gravettian (statuetă)	GrN-14035	Ch	26750 ± 600	27350-26150
37	Mitoc-Malu Galben	Gravettian (solifluct)	GrN-14037	Ch	26910 ± 450	27360-26460
38	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-15453	Ch	27100±1500	28600-25000
39	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-12635	Ch	27150 ± 750	27900-26400
40	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GrN-14914	Ch	27410 ± 430	27840-26980
41	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	GX-8723	Ch	27500 [1SD > 33000]	(2SD)
42	Mitoc-Malu Galben	Gravettian	OxA-1778	B	27500 ± 600	28100-26900
43	Ripiceni-Izvor	Aurignacian	Bln-809	Ch	28420 ± 400	28820-28020
44	Ripiceni-Izvor	Aurignacian/ Musterian?	Bln-810	Bb	28780 ± 2000	30780-26780
45	Mitoc-Malu Galben	Aurignacian	GrN-12636	Ch	28910 ± 480	29390-28430
46	Mitoc-Malu Galben	Aurignacian(*in situ*)	GrN-15454	Ch	29410 ± 310	29720-29100
47	Mitoc-Malu Galben	Aurignacian (intruziv?)	GrN-13007	B	30000^{+6500}_{-4500} [2SD 24000]	(1SD)

1	2	3	4	5	6	7
48	Broşteni-Peştera Cioarei	fals (puternice anomalii)	GrN-15049	guano	30730 ± 420	31150-30310
49	Mitoc-Malu Galben	Aurignacian(*in situ*)	OxA-1646	Ch	31100 ± 900	32000-30200
50	Mitoc-Malu Galben	Aurignacian(*in situ*)	GrN-12637	Ch	31850 ± 800	32650-31050
51	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-13005	B	37750 ± 950	38700-36800
52	Ripiceni-Izvor	Micoquian M (contactul niv. IV-V)	GrN-9210	Bb	40200 +1100 -1000	41300-39200
53	Ripiceni-Izvor	Micoquian M (niv. IV)	GrN-9209	Bb	42500 +1300 -1100	43800-41400
54	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-13001	B	43000 +1300 -1100	44300-41900
55	Ripiceni-Izvor	Micoquian M (niv. IV)	GrN-9207	Bb	43800 +1100 -1000	44900-42800
56	Ripiceni-Izvor	Micoquian M (niv. IV)	GrN-9208	Bb	44800 +1300 -1100	46100-43800
57	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-13004	B	>45000	

1	2	3	4	5	6	7
58	Ripiceni-Izvor	T.Musterian(niv.III)	GrN-11571	Alkali de la GrN-11230	45000 +1400 -1200	46400-43800
59	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-13000	B	>46000	
60	Ripiceni-Izvor	T.Musterian(niv.III)	GrN-11230	Bb	46400 +4700 -2500	51100-43500
61	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15047 (datată contrar probei 69, mai jos)	Ch	>47000	
62	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15052	B	47200 +2900 -2100	50100-45100
63	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15054	B	48000 +1800 -1500	49800-46500
64	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15053	B	48900 +2100 -1700	51000-47200
65	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15056	B	>49000	

66	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-13002	B	49500 +3200 -1100	52700-48400
67	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-13003	B	>50000	
68	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15046	B	50900 +4400 -2800	55300-53700
69	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15048	B	51900 +5300 -3200	57200-48600
70	Broşteni-Peştera Cioarei	?	GrN-15055	B	>54000	

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Nr. crt.	Locul de descoperire	Epoca Cultura/faza	Laborator Nr. ordine	Mat.	Datarea			
					BP	b.c.	CAL BC	
							1 s	2 s
1	2	3	4	5	6	7	8	9
71	Ostrovu Banului	**Epipaleolitic** Schela Cladovei	Bln - 1080		8040 ± 160	*6090 ± 160*		
72	Ostrovu Banului	Idem	Bln - 1079		7656 ± 100	*5706 ± 100*	6594 - 6420	6690 - 6230
73	Ostrovu Corbului	Idem	Bln - 2135		7710 ± 80	*5760 ± 80*	6611 - 6447	6700 - 6410
74	Idem	Idem	Bln - 2135A		7695 ± 80	*5745 ± 80*	6603 - 6442	6690 - 6400
75	Ogradena-Razvrata	Idem	Bln - 1057	Ch	7690 ± 70	5740 ± 70	6597 - 6463	6680 - 6410
76	Pescari-Alibeg	Idem(ultima faza)	Bln - 1193		7195 ± 100	5245 ± *100*	6120 - 5970	6221 - 5820
77	Erbiceni	Tardenoisian	GX - 9417		7850 ± 215	*5900 ± 215*	7060 - 6450	
78	Ogradena-Icoana	**Neolitic, Eneolitic** Starcevo Criş	Bln - 1056		7445 ± 80	5495 ± *80*	6417 - 6173	6450 - 6100
79	Trestiana	Starcevo-Criş IIIB	GrN - 17003		6665 ± 45	4715 ± *45*	5630 - 5494	5640 - 5480
80	Valea Răii	Starcevo-Criş	KN-I. 102	Ch	6480 ± 75	4530 ± 75	5485 - 5334	5550 - 5240
81	Cârcea-Viaduct	Cârcea III/ Starèevo-Criş IV	Bln - 1981		6540 ± *60*	4590 ± 60	5506 - 5413	5615 - 5330
82	Idem	Idem	Bln - 1982		6430 ± *60*	4480 ± 60	5474 - 5248	5490 - 5240
83	Idem	Idem	Bln - 1983		6395 ± *60*	4445 ± 60	5454 - 5243	5480 - 5230
84	Idem	Idem	Bln - 2354		5860 ± 60	4910 ± *60*	4835 - 4715	4900 - 4586
85	Gornea	Vinca A./ Starcevo-Criş IVA	BM - 1124	Ch	5871±54	3921±54	4837 - 4720	4900 - 4606

1	2	3	4	5	6	7	8	9
86	Liubcova	Vinca B_2	Bln - 2133	Bg + Ch	6175 ± 85	4225 ± 85	5235 - 5003	5317 - 4903
87	Cârcea-Viaduct	Dudești-Vinca B	Bln - 1978		6585 ± 65	4635 ± 65	5556 - 5428	5630 - 5350
88	Idem	Idem	Bln - 1980		6100 ± 60	4150 ± 60	5204 - 4941	5230 - 4859
89	Idem	Idem	Bln - 2008		6250 ± 40	4300 ± 40	5293 - 5210	5325 - 5067
90	Idem	Idem	Bln - 2292		6325 ± 60	4375 ± 60	5338 - 5233	5463 - 5210
91	Idem	Dudești-Vinca C	Bln - 2291		5990 ± 55	4040 ± 55	4943 - 4804	5060 - 4780
92	Idem	Idem	Bln - 22904		5865 ± 95	3915 ± 95	4896 - 4621	4993 - 4510
93	Idem	Idem	Bln - 2289		5910 ± 50	3960 ± 50	4896 - 4775	4937 - 4720
94	Idem	Idem (?)	Bln - 2287		6300 ± 55	4350 ± 55	5325 - 5229	5370 - 5088
95	Farcașu de Sus	Dudești II-III	Bln - 2285	Ch/ W	6080 ± 60	4130 ± 60	5198 - 4906	5220 - 4847
96	?	Ciumești			6280 ± 100	4330 ± 100	5300 - 5148	5473 - 4946
97	Hodoni	Vinca C_1	Deb - 1963	A	5880 ± 60	3930 ± 60	4892 - 4721	4935 - 4604
98	Idem	Idem	Deb - 2018	A	5870 ± 60	3920 ± 60	4891 - 4718	4933 - 4591
99	Daia Română	Petrești A	Bln - 1197	Ch	5900 ± 100	3950 ± 100	4933 - 4720	5060 - 4570
100	Idem	Idem	Bln - 1199	Ch	5835 ± 100	3885 ± 100	4891 - 4586	4940 - 4470
101	Idem	Idem	Bln - 1201	Ch	5710 ± 100	3760 ± 100	4720 - 4460	4831 - 4350
102	Târpești	Ceramică liniară	Bln - 800		6170 ± 100	4220 ± 100	5240 - 4947	5330 - 4853
103	Idem	Idem	Bln - 801		6245 ± 100	4295 ± 100	5319 - 5070	5410 - 4908
104	?	Hamangia III	GrN - 1986		5880 ± 70	3930 ± 70	4894 - 4718	4939 - 4586
105	Baia Hamangia	Idem	GrN - 1980	Ch	5880 ± 70	3930 ± 70	4894 - 4718	4939 - 4586
106	Cascioarele	Boian-Spantov	Bln - 335	Ch	5985 ± 120	4035 ± 120	5060 - 4780	5230 - 4590

1	2	3	4	5	6	7	8	9
107	Idem	Idem	Bln - 798		5980 ± *100*	4030 ± 100	5039 - 4780	5210 - 4680
108	Idem	Idem	Bln - 336	Ch	5895 ± 120	3945 ± *120*	4937 - 4627	5197 - 4500
109	Idem	Idem	Bln - 598	Ch	5855 ± 80	3905 ± *80*	4891 - 4626	4937 - 4530
110	Idem	Idem	Bln - 799		5765 ± *100*	3815 ± 100	4780 - 4510	4897 - 4368
111	Idem	Idem	Bln - 334	Ch	5750 ± 80	3800 ± *80*	4726 - 4509	4831 - 4406
112	Idem	Idem	Bln - 333	Ch/ W	5740 ± 120	3790 ± *120*	4780 - 4470	4900 - 4350
113	Idem	Idem	Bln - 602	Ch/ W	5705 ± 80	3755 ± *80*	4713 - 4466	4780 - 4360
114	Idem	Idem	Bln - 599	Ch	5670 ± 100	3700 ± *100*	4675 - 4369	4780 - 4340
115	Idem	Idem	Bln - 796		5570 ± *100*	3620 ± 100	4510 - 4340	4676 - 4240
116	Idem	Idem	KN-I.149	Ch	5750 ± *65*	3800 ± 65	4722 - 4520	4780 - 4460
117	Radovanu	Tranziție Boian/Gumelnița	Bln - 1233		5770 ± 100	3820 ± *100*	4780 - 4510	4898 - 4369
118	Idem	Idem	Bln - ?		5850 ± *70*	3900 ± 70	4834 - 4678	4932 - 4539
119	Gumelnița	Gumelnița A2a	GrN - 3025	Ch/ W	5715 ± *70*	3765 ± 70	4713 - 4481	4780 - 4370
120	Idem	Idem	GrN - 3028	Bg	5400 ± *90*	3450 ± 90	4351 - 4049	4457 - 4002
121	Vărăști	Gumelnița A2	GrN - 1968		5360 ± *70*	3410 ± 70	4336 - 4046	4350 - 4002
122	Cascioarele	Idem	Bln - 332	Ch	5865 ± 150	3915 ± *150*	4936 - 4578	5205 - 4368
123	Idem	Idem	Bln - 605	Ch	5675 ± 80	3725 ± *80*	4667 - 4459	4772 - 4360
124	Idem	Idem	Bln - 603	Ch	5620 ± 120	3670 ± *120*	4661 - 4350	4780 - 4240
125	Idem	Idem	Bln - 344	Ch	5620 ± 120	3670 ± *120*	4661 - 4350	4780 - 4240
126	Idem	Idem	Bln - 604	Ch	5580 ± 100	3630 ± *100*	4520 - 4350	4712 - 4240

1	2	3	4	5	6	7	8	9
127	Idem	Idem	Bln - 607	Ch	5560 ± 100	3610 ± *100*	4510 - 4340	4669 - 4230
128	Idem	Idem	Bln - 624	G	5560 ± 100	3610 ± *100*	4510 - 4340	4669 - 4230
129	Idem	Idem	Bln - 345	Ch	5555 ± 150	3605 ± *150*	4575 - 4247	4780 - 4040
130	Idem	Idem	Bln - 606	Ch	5545 ± 100	3595 ± *100*	4490 - 4340	4663 - 4164
131	Idem	Idem	Bln - 343	Ch	5485 ± 120	3535 ± *120*	4460 - 4240	4656 - 4008
132	Idem	Idem	Bln - 608	Ch	5400 ± 120	3450 ± *120*	4360 - 4044	4490 - 3990
133	Hârşova-tell	Idem	GrN		5380 ± 45	3430 ± *45*	4335 - 4160	4347 - 4045
134	Poduri-Dealul Ghindaru	Precucuteni II	Bln - 2804	Ch/ W	5820 ± 50	3870 ± *50*	4780 - 4619	4836 - 4548
135	Idem	Precucuteni III	Bln - 2803	C	5880 ± 150	3930 ± *150*	4940 - 4584	5210 - 4401
136	Idem	Idem	Bln - 2782	Ch/ W	5780 ± 50	3830 ± *50*	4726 - 4583	4780 - 4510
137	Târpeşti	Idem	GrN - 4424	Ch	5530 ± 85	3580 ± *85*	4465 - 4339	4574 - 4230
138	Poduri-Dealul Ghindaru	Cucuteni A_1 (?)	Bln - 2783	Ch	5690 ± 50	3740 ± *50*	4662 - 4469	4720 - 4404
139	Idem	Idem	Bln - 2784	Ch	5680 ± 60	3730 ± *60*	4662 - 4465	4720 - 4366
140	Mărgineni	Cucuteni A_2	Bln - 1536	Ch/ W	5625 ± 50	3675 ± *50*	4518 - 4398	4658 - 4360
141	Idem	Idem	Bln - 1534	C	5610 ± 55	3660 ± *55*	4510 - 4365	4655 - 4350
142	Idem	Idem	Bln - 1535	C	5485 ± 60	3535 ± *60*	4365 - 4264	4460 - 4240
143	Idem	Idem	Bln - 1751	Ch/ W	5635 ± 50	3685 ± *50*	4526 - 4404	4661 - 4360
144	Poduri-Dealul Ghindaru	Idem	Bln - 2802	Ch/ W	5420 ± 150	3470 ± *150*	4454 - 4042	4654 - 3970
145	Idem	Idem	Bln - 2805	Ch	5400 ± 70	3450 ± *70*	4346 - 4158	4360 - 4040

1	2	3	4	5	6	7	8	9
146	Idem	Idem	Bln - 2766	Ch/ W	5350 ± 80	3400 ± *80*	4336 - 4042	4360 - 3990
147	Idem	Idem	Bln - 2824	Ch	5500 ± 60	3550 ± *60*	4452 - 4337	4470 - 4240
148	Idem	Idem	HD - 15039	Bg	5385 ± 37	3435 ± *37*	4335 - 4164	4345 - 4048
149	Idem	Idem	HD - 15324	Ch	5529 ± 29	3579 ± *29*	4452 - 4352	4460 - 4343
150	Idem	Idem	HD - 15401	Ch	5575 ± 35	3625 ± *35*	4464 - 4361	4500 - 4351
151	Malnaş Băi	Cucuteni A_2-A_3	HD - 15082	B	5407 ± 20	3475 ± *20*	4337 - 4240	4344 - 4167
152	Idem	Idem	HD - 14118	Ch	5663 ± 42	3713 ± *42*	4576 - 4465	4667 - 4398
153	Idem	Idem	HD - 14109	Ch	5497 ± 100	3547 ± *100*	4460 - 4244	4572 - 4047
154	Idem	Idem	HD - 15278	B	5349 ± 40	3399 ± *40*	4306 - 4049	4338 - 4040
155	Hăbăşeşti	Cucuteni A_3	GrN - 1985	Ch	5340 ± *80*	3390 ± 80	4334 - 4040	4350 - 3990
156	Leca-Ungureni	Idem	Bln - 795	C	5345 ± *100*	3395 ± 100	4340 - 4008	4360 - 3980
157	Preuteşti-Haltă	Idem	HD - 14817	B	5423 ± 26	3473 ± *26*	4342 - 4243	4350 - 4235
158	Scânteia	Idem	HD - 14701	B	5388 ± 18	3438 ± *18*	4332 - 4236	4338 - 4161
159	Idem	Idem	HD - 14792	B	5370 ± 26	3397 ± *26*	4322 - 4162	4337 - 4049
160	Drăguşeni-Ostrov	Cucuteni A_4	Bln - 1195	Ch	5430 ± 100	3480 ± *100*	4360 - 4158	4470 - 4005
161	Idem	Idem	Bln - 1060	Ch	5355 ± *100*	3405 ± 100	4340 - 4040	4452 - 3980
162	Idem	Idem	Bln - 1194	Ch	5205 ± 100	3255 ± *100*	4222 - 3827	4330 - 3790
163	Idem	Cucuteni A-B_1	HD - 14761	B	5246 ± 24	3296 ± *24*	4214 - 4002	4221 - 3995
164	Idem	Idem	HD - 14831	B	4996 ± 26	3046 ± *26*	3902 - 3715	3939 - 3703
165	Idem	Idem	HD - 14544	B	5188 ± 18	3238 ± *18*	4032 - 3989	4037 - 3978
166	Mihoveni-Cahla Morii	Cucuteni B_1	HD - 14791	B	4890 ± 29	2940 ± *29*	3772 - 3646	3779 - 3635
167	Idem	Idem	HD - 14710	B	5162 ± 37	3212 ± *37*	3999 - 3970	4038 - 3822

1	2	3	4	5	6	7	8	9
168	Valea Lupului	Cucuteni B_2	GrN - 1982	C	4950 ± *60*	2980 ± 60	3787 - 3694	3945 - 3640
169	Cucuteni-Cetățuia	Idem	HD - 15075	B	5065 ± 19	3115 ± *19*	3951 - 3814	3966 - 3787
170	Curmătura	Sălcuța II	Bln - 1977	Ch	5710 ± 45	3760 ± *45*	4668 - 4504	4719 - 4463
171	Sălcuța	Sălcuța IIb	GrN - 1990	Ch	5475 ± *55*	3575 ± 55	4361 - 4250	4459 - 4240
172	Sălcuța	Sălcuța IIc	GrN - 1985	Ch	5450 ± *50*	3550 ± 50	4354 - 4245	4451 - 4164
173	Ostrovu Corbului	Sălcuța	SMU - 585		5627 ± [illegible]	3677 ± 77	4575 - 4364	4712 - 4340
174	Idem	Sălcuța IIIb			5591 ± *82*	3641 ± 82	4516 - 4354	4668 - 4265
175	Idem	Idem			5260 ± *60*	3310 ± 60	4226 - 3998	4240 - 3980
176	Băile Herculane	Eneolitic	LJ - 3531		7325 ± *80*	5375 ± 80	6222 - 6087	6400 - 5988
177	Idem	Eneolitic II	LJ - 3532		6660 ± *60*	4710 ± 60	5631 - 5488	5650 - 5480
178	Horodiștea	**Perioada de tranziție spre Epoca Bronzului** Horodiștea	HD - 14785	B	4495 ± *18*	2545 ± 18	3331 - 3101	3340 - 3046
179	Idem	Idem	HD - 15024	B	4377 ± 21	2427 ± *21*	3035 - 2924	3091 - 2920
180	Idem	Idem	HD - 14898	B	4235 ± 30	2285 ± *30*	2908 - 2783	2916 - 2703
181	Cernavodă	Cernavoda I	Bln - 61a	Ch	4505 ± 100	2600 ± *100*	3360 - 3040	3510 - 2920
182	Idem	Idem	Bln - 61	Ch	4385 ± 100	2400 *(2435 ± 100)*	3299 - 2910	3350 - 2706
183	Idem	Idem	Bln - 62	Ch	4260 ± 100	2310 ± *100*	3018 - 2701	3255 - 2590
184	Idem	Idem	Bln - 1061	Ch	4710 ± 100	2760 ± *100*	3633 - 3360	3770 - 3136
185	Corabia	Grupul Celei	Bln - 2014		4225 ± 60	2775 ± *60*	2913 - 2702	3012 - 2619
186	Idem	Idem	Bln - 2015		4135 ± 45	2185 ± *45*	2875 - 2615	2888- 2580
187	Idem	Idem	Bln - 2016		4335 ± 45	2385 ± *45*	3029 - 2913	3091- 2892

1	2	3	4	5	6	7	8	9
188	Idem	Idem	Bln - 2017		4655 ± 55	2705 ± 55	3508 - 3358	3620- 3197
189	Ostrovu Corbului	Coţofeni	LJ - 3797		4570 ± 60	2620 ± 60	3372 - 3137	3503 - 3047
190	Băile Herculane	Coţofeni II-IIb	LJ - 3533		4460 ± 80	2510 ± 80	3338- 2929	3370 - 2910
191	Idem	Coţofeni IIIc	LJ - 3534		4360 ± 100	2410 ± 100	3254- 2900	3350 - 2701
192	Ostrovu Corbului	Coţofeni III	LJ - 3799	Ch	4400 ± 60	2510 ± 60	3255 - 2922	3330 - 2910
193	Idem	Idem	LJ - 3798	Ch	4420 ± 50	2470 ± 50	3291 - 2928	3330 - 2920
194	Băile Herculane	Coţofeni III-IIIc	LJ - 3535		4350 ± 60	2400 ± 60	3038 - 2913	3292 - 2788
195	Idem	Coţofeni IIIc	LJ - 3536		4300 ± 60	2350 ± 60	3018 - 2891	3080 - 2705
196	Hamangia	Morminte cu ocru	KN-I. 038		3700 ± 120	1830 ± 120	2290 - 1940	2470 - 1760
197	Baia Hamangia	Idem	KN - 38		4060 ± 160	2110 ± 160	2886 - 2460	3028 - 2124
198	Idem	Idem	Bln - 29	W	4090 ± 160	2140 ± 160	2900 - 2460	3040 - 2149
199	Hamangia	Idem	GrN - 1995	Ch	4280 ± 65	2330 ± 65	3011 - 2785	3040 - 2669
200	Galaţi	Idem	Bln - 2510	Ch	3400 ± 150	1450 ± 150	1900 - 1520	2133 - 1410

6. ÎNCHEIERE

Ne-am străduit ca în paginile acestei cărţi să prezentăm principiile de bază ale metodei radiocarbon, posibilităţile şi limitele ei, stadiul cercetărilor la care s-a ajuns în acest domeniu, spre o mai bună informare a arheologilor, care doresc să beneficieze de acest mijloc de datare. Nu ne-am propus, şi nu ne putem propune nici în această încheiere să facem un bilanţ al impactului cronologiei radiocarbon asupra interpretării datelor arheologiei şi, în special, a preistoriei europene: un asemenea demers ar presupune un studiu special. De altfel, asemenea studii nu lipsesc şi cititorul interesat poate apela, în deosebi, la lucrările lui Colin Renfrew, care a mers, poate, cel mai departe în analiza consecinţelor a ceea ce el numeşte cele două "revoluţii radiocarbon". (Prima "revoluţie" ar fi constat în elaborarea şi aplicarea metodei iniţiale, iar cea de a doua ar fi fost determinată de calibrarea datelor ^{14}C.) Încă din 1970 el susţine nu mai puţin decât prăbuşirea cadrului cronologic tradiţional şi, odată cu aceasta, a întregului sistem de conexiuni al preistoriei europene, sistem elaborat treptat şi cu migală, în ultima sută de ani. Acest sistem, fără a fi perfect, părea a fi, totuşi suficient de solid. La conturarea lui au contribuit mai multe generaţii de învăţaţi, de la cea a lui Oscar Montelius până la aceea a lui V.Gordon Childe (şi, poate, nu numai), generaţii a căror viziune cu privire la preistoria europeană a fost determinată, pe de o parte, de ideile evoluţionismului, iar pe de altă parte, de concepţia difuzionistă. Punctul de vedere exprimat de Renfrew

este al unui preistorician (nord-) vest-european, marcat, poate, de decalajul presupus de "difuzioniști" între ritmul de dezvoltare a lumii "civilizate" și cel al Europei "barbare", de dependența postulată a acesteia din urmă de cea prima menționată. În ceea ce ne privește, în măsura în care percepția noastră este corectă, noi nu credem că preistoria sud-est europeană ar fi ajuns într-o situație dramatică; socotim, mai degrabă, că ea a intrat într-o fază de firească și necesară limpezire.

Această nouă etapă a preistoriei europene și a științelor preistorice, în general, nu poate fi disociată de progresele făcute în domeniul datării radiocarbon, de la primele experiențe ale lui Libby și până la elaborarea instalațiilor și procedeelor sofisticate de astăzi. Cu toate imperfecțiunile ei, care există și care nu vor putea fi eliminate cu totul nici în viitor, această metodă a devenit un instrument de lucru indispensabil în estimarea poziției în timp a diferitelor fenomene culturale-istorice din trecutul îndepărtat și a raporturilor temporale între ele, adesea imposibil de evaluat prin mijloacele proprii arheologiei. Posibilitățile oferite de această metodă, amintite mai sus, sunt valabile, mai ales, în sensul unei cronologii relative. Judecând cu luciditate, trebuie să admitem că metoda radiocarbon nu poate oferi, la ora actuală, o cronologie absolută în sensul strict al cuvântului, și cu atât mai puțin o cronologie istorică adevărată. (După cum se știe, datele ei se referă în general, la "evenimente", legate mai mult sau mai puțin direct de o activitate umană semnificativă.)

Nu putem să nu recunoaștem efortul admirabil, stăruitor, al specialiștilor în domeniu de a îmbunătăți metoda radiocarbon, inclusiv spre a o face aptă - în limitele posibilului - pentru determinări de cronologie absolută. Au fost dezvoltate

metodologia și tehnicile de datare, atât cele "clasice" (GC, LS), cât și noua metodă AMS. Acuratețea datării ^{14}C convenționale atinge, astăzi, în mod obișnuit, ±10 ani. Prin extinderea tehnicii AMS a devenit posibilă datarea mostrelor cu o masă extrem de redusă, inclusiv a unor fracțiuni de mostre, ceea ce permite o selecție mai riguroasă a eșantioanelor și, în același timp, a rezultatelor analizelor obținute, reținerea pentru determinări cronologice numai datarea mostrelor ce s-au dovedit adecvate prin integritatea lor și prin asocierea lor indubitabilă cu vestigiile și fenomenele arheologice studiate.

A devenit o practică de rutină colaborarea între laboratoare, inclusiv între laboratoarele diferitelor țări, ceea ce a permis studierea comparată a datărilor, obținute prin tehnici diferite, în laboratoare diferite. S-a dovedit extrem de utilă practica de a schimba mostrele între laboratoare pentru a verifica rezultatele datărilor obținute pe aceleași eșantioane. A fost deosebit de instructiv programul întreprins de *International Study Group*, în 1982, cu participarea a 20 de laboratoare din diferite țări, care a atras atenția asupra împrăștierii excesive și a devierii datărilor radiocarbon, obținute în unele laboratoare, pe mostre de aceeași vârstă. Experiențele de mai târziu, de același gen, au confirmat existența unei variabilități, deocamdată dificil de explicat, a rezultatelor obținute în diferite laboratoare asupra acelorași mostre. Arheologul care utilizează datările radiocarbon ar trebui să aibă în vedere, prin urmare, nu numai rezultatele în sine, dar și laboratorul în care ele au fost obținute.

O nouă eră în dezvoltarea metodei de datare prin radiocarbon a intervenit în urma cercetării aprofundate a oscilațiilor naturale ale concentrației ^{14}C atmosferice, fenomen ce determină ca vârstele radiocarbon să nu fie identice cu

precizie, efectuate pe mostre de lemn american (*Pinus aristata/ longaeva, Sequoia gigantea*), datate dendronocronologic, au dus, începând cu anul 1967, la elaborarea primelor curbe de calibrare, considerate astăzi ca având, mai mult, o valoare istorică. Adevărata cotitură în domeniul calibrării datelor radiocarbon s-a produs abia în ultimii 15 ani. Ea se datorează, pe de o parte, progreselor realizate în dendrocronologia europeană (studiul stejarului fosil din Germania şi Irlanda), iar pe de altă parte, importantelor îmbunătăţiri ale preciziei datărilor radiocarbon. Exemplara colaborare între laboratoarele de la Belfast (Irlanda de Nord), şi de la Seattle (SUA), conduse G.W. Pearson, respectiv, Minze Stuiver, a dus la elaborarea primelor curbe de calibrare de înaltă precizie, bazate pe măsurătorile ^{14}C, verificate reciproc în ambele laboratoare, care operează cu tehnici diferite (LS la Belfast, GC la Seattle). Aceste cercetări au fost susţinute şi de colaboratorii altor laboratoare, de radiocarbon şi de dendrocronologie (Groningen, Heidelberg, Pretoria, Stuttgart- Hohenheim, Tucson), iar curbele şi tabelele de calibrare realizate au fost acceptate şi recomandate de comunitatea ştiinţifică internaţională la conferinţa de radiocarbon de la Trondheim (Norvegia), în 1985.

Transformarea datelor radiocarbon convenţionale în date calendaristice nu este o operaţie lipsită de dificultăţi, datorită multiplelor interceptări între unghiurile("zigzagurile") curbei de calibrare şi intervalul de timp, rezultat în urma măsurării ^{14}C a mostrelor. Spre a depăşi aceste dificultăţi, s-a recurs la calibrarea probabilistică a datelor radiocarbon şi au fost elaborate versiuni computerizate ale procedeelor de calibrare. Programele de calibrare pe calculator, în continuă îmbunătăţire, au devenit, în zilele noastre, un instrument de lucru accesibil, cu

au devenit, în zilele noastre, un instrument de lucru accesibil, cu care ar trebui să se familiarizeze toţi arheologii interesaţi în datarea radiocarbon. Cu ajutorul programelor existente este posibilă, astăzi, calibrarea datelor radiocarbon relative la ultimele 18 milenii, existând speranţa că acest interval de timp va putea fi extins până către 30.000 BC.

Istoria de o jumătate de veac a datării prin radiocarbon ne îndreptăţeşte să credem că, depăşind "criza" cronologiei preistorice, provocată, în viziunea unor arheologi, de aplicarea metodei ^{14}C, aceasta, coroborată cu celelalte metode de cercetare, "clasice" sau "moderne", ale arheologiei, ne va ajuta să înţele- gem mai bine trecutul îndepărtat al civilizaţiei noastre.

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITARĂ

LABORATOARE RADIOCARBON*

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
A	xARIZONA. Laboratory of Isotope Geochemistry. Geosciences Department. University of Arizona	Tucson, SUA (Arizona)
AC	xINGEIS. Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria	Buenos Aires, Argentina
	xAdvanced Atomic Energy Rerearch Institute, Chung Nam	Chung Nam, Coreea (de Sud)
AECV	xALBERTA ENVIRONMENTAL CENTRE, VEGREVILLE. Environmental Isotopes Section	Vegreville, Canada (Alberta)
	xA.F.Ioffe Physico-Technical Institute. Russian Academy of Sciences	Sankt Petersburg, Rusia
ALG	xALGIERS	Algiers, Algeria
	xAll-Union Hydrogeological Institute	Zelyonyi, rai. Noginsk, districtul Moscova, Rusia
ANL	ARGONNE NATIONAL LABORATORY	Argonne,SUA (Illinois)

* Laboratoarele însemnat cu asterisc sînt cele cuprinse în ultima listă, publicată în *Radiocarbon*, vol.36, No.3, 1994, p.417-440, completată cu trei laboratoare noi în vol.37, No.1, 1995, p.87.

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
ANTW	xANTWERP UNIVERSITY. Department of General Botany	Antwerpen, Belgia
ANU	xAUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY. Quaternary Dating Research Centre	Canberra, Australia
AU	UNIVERSITY OF ALASKA. Institute of Marine Science	Fairbanks, SUA (Alaska)
B	xBERN. Physikalisches Institut. Department of Klima- und Umwelt-physik. Universität Bern	Berna, Elveția
Ba	xBRATISLAVA. Departament of Nuclear Physics. Comenius University	Bratislava, Slovacia
BC	BROOKLIN COLLEGE. Department of Chemistry	Brooklin, New York, SUA
	xBeijing Nuclear Instrument Factory	Beijing, China
	xBeijing University. Department of Archaeology, ^{14}C Dating Laboratory	Beijing, China
Beta	xBETA ANALYTIC, INC.	Miami, SUA (Florida)
Birm	xBIRMINGHAM. Department of Geological Sciences. University of Birgmingham	Birgmingham, Marea Britanie (Anglia)
Bln	xBERLIN. Deutsches Archäologisches Institut. Eurasien - Abteilung	Berlin, Germania

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
BM	ˣBRITISH MUSEUM. Department of Scientific Research	Londra, Marea Britanie (Anglia)
BS	ˣBIRBAL SAHNI INSTITUTE. PALEOBOTANY. Radiocarbon Laboratory	Lucknow, India
BSG	ˣBROCK UNIVERSITY. Department of Geological Sciences	St. Catherines, Canada (Ontario)
CAR	CARDIFF. University of Wales (vezi: SWA)	Cardiff, Marea Britanie (Țara Galilor)
CENA	ˣCENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA. Seção de Radionuclideos Naturais, Universidade de São Paulo	São Paulo, Brazilia
CG	ˣINSTITUTE OF GEOLOGY. State Seismological Bureau. Radiocarbon Laboratory	Beijing, China
CH	ˣCHEMISTRY LABORATORY. Physical Research Laboratory, Ahmedabad	Ahmedabad, India
	ˣChangchun Institute of Geography. Academia Sinica, Changchun.	Changchun, China
	ˣChemistry Department. Office of Atomic Energy for Peace	Bangkok, Thailanda
	ˣChina-Japan Friendship Hospital,	Beijing, China

BCUAIC CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
CRCA	[x]CAIRO. Carbon-14 Dating Laboratory. Center of Research and Conservation of Antiquities	Cairo, Egipt
CSM	[x]COSMOCHEMISTRY LABORATORY. Geochemistry and Analytical Chemistry. Academy of Sciences	Moscova, Rusia
CU	[x]CHARLES UNIVERSITY. Department of Hydrogeology and Engineering Geology	Praga, Cehia
Dak	DAKAR. Université de Dakar	Dakar, Senegal
DAL	DALHOUSIE UNIVERSITY. Department of Biology	Halifax, Canada (Nova Scotia)
DE	[x]UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Denver Federal Center	Denver, SUA (Colorado)
Deb	[x]DEBRECEN. Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences	Debrecen, Ungaria
DEM	[x]DEMOKRITOS. Archaeometry Laboratory. National Research Centre for Physical Sciences "Demokritos"	Atena, Grecia
	[x]Department of Chemistry. Radiochemical Laboratory. University of Sofia	Sofia, Bulgaria
DIC	DICARB RADIOISOTOPE COMPANY	Gainesville, SUA (Florida)

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
DRI	ˣDESERT RESEARCH INSTITUTE. Water Resources Center. Radiocarbon Laboratory	Las Vegas, SUA (Nevada)
ENEA	ˣENEA RADIOCARBON LABORATORY. Bologna	Bologna, Italia
F	ˣFLORENCE. Radiocarbon Dating Laboratory. Instituto di Antropologia. Università di Firenze	Florența, Italia
	ˣFaculty of Chemistry. ^{14}C Laboratory. University of Montevideo	Montevideo, Uruguay
Fr	ˣFREIBERG. Institut für Angewandte Physik. Technische Universität-Bergakademie Freiberg	Freiberg, Germania
Fra	ˣFRANKFURT. Radiocarbon Laboratory. J.W. Goethe-Universität	Frankfurt am Main, Germania
FZ	ˣFORTALEZA. Departamento de Fisica. UFCe	Fortaleza/CE, Brazilia
GaK	ˣGAKUSHUIN UNIVERSITY. Faculty of Science. Radiocarbon Laboratory	Tokio, Japonia
Gd	ˣGLIWICE. Radiocarbon Laboratory. Silesian Technical University. Institute of Physics	Gliwice, Polonia
Gif	ˣGIF-SUR-YVETTE. Centre des Faibles Radioactivités, Laboratoire mixte CNRS-CEA	Gif-sur-Yvette, Franța

BCU "Lucian Blaga" CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
	și [x]Laboratoire Souterrain de Modane. Laboratoire mixte IN2I'3 - CNRS/DSM-CEA	Modane, Franța
GIN	[x]GEOLOGICAL INSTITUTE. Russian Academy of Sciences	Moscova, Rusia
GrN	[x]GRONINGEN. Center for Isotope Research. University of Groningen	Groningen, Olanda
GSC	[x]GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA. Radiocarbon Dating Laboratory	Ottawa, Canada (Ontario)
GU	[x]SCOTTISH UNIVERSITIES RESEARCH & REACTOR CENTRE. GU Radiocarbon Dating Laboratory	Glasgow, Marea Britanie (Scoția)
GX	[x]GEOCHRON LABORATORIES. DivisionKrueger Entreprises, Inc.	Cambridge, SUA (Massachusetts)
HAM	[x]UNIVERSITY OF HAMBURG. Institut für Bodenkunde. Universität Hamburg	Hamburg, Germania
HAR	[x]HARWELL. Isotope Measurements Laboratory.Analytical Sciences Centre	Harwell/Oxfordshire, Marea Britanie (Anglia)
Hd	[x]HEIDELBERG. Institut für Umweltphysik. Universität Heidelberg	Heidelberg, Germania

BCU CLUJ / UNIVERSITY LIBRARY

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
Hel	xHELSINKI. Radiocarbon Dating Laboratory. University of Helsinki	Helsinki. Finlanda
HIG	HAWAII INSTITUTE OF GEOPHYSICS. University of Hawaii	Honolulu. SUA (Hawaii)
HL	xSECOND INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY. State Oceanic Administration, Hangzhou	Hangzhou, Zheijiang, China
Hv	xHANNOVER. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung	Hannover-Buchholz, Germania
I	xTELEDYNE ISOTOPES. (Teledyne Brown Engineering Environmental Services)	Westwood, SUA (New Jersey)
IAEA	xINTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Isotope Hydrology Section, Vienna	Viena, Austria
IAEA-MEL	xINTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY-MARINE ENVIRONMENTAL LABORATORY, Monaco	Monaco, Principatul Monaco
IEAMAE	xINSTITUTE OF EVOLUTIONARY MORPHOLOGY AND ANIMAL ECOLOGY. Russian Academy of Sciences	Moscova, Rusia
IGAN	xINSTITUTE OF GEOGRAPHY. Russian Academy of Sciences	Moscova, Rusia
	xINQUA, Russian Section	Moscova, Rusia

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
	[x]Institute of Botany. Lithuanian Academy of Sciences, Kaunas	Kaunas, Lituania
	[x]Institute of Ecology. Estonian Academy of Sciences, Tallinn	Tallinn, Estonia
	[x]Institute of Geochemistry. Chinese Academy of Sciences, Wushan	Wushan, Guangzhou, China
	[x]Institute of Geography. Russian Academy of Sciences	Vladivostok, Rusia
	[x]Institute of Geological Science. Ucrainian Academy of Science	Kiev, Ucraina
	[x]Institute of Geology. Radioisotope Laboratory, Vilnius	Vilnius, Lituania
	[x]Institute of Geology. Russian Academy of Sciences	Ufa, Rusia
	[x]Institute of Geology, Geochemistry and Geophysics. Belorussian Academy of Sciences	Minsk, Bielorusia
	[x]Institute of Physics and Mathematics. Lithuanian Academy of Sciences, Vilnius	Vilnius, Lituania
	[x]Institute of Plant and Animal Ecology	Sverdlovsk, Rusia
	[x]ute of Salt Lake Studies. Radio-arbon Laboratory. Academia Sinica, Xining	Xining, China (Provincia Qinghai)

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
	*Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology. Academia Sinica, Beijing	Beijing, China
IOAN	*INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY. Laboratory of Isotopic - Geochemical Research. Russian Academy of Sciences	Moscova, Rusia
IRPA	*INSTITUT ROYAL DU PATRIMOINE ARTISTIQUE	Bruxelles, Belgia
ISGS	*ILLINOIS STATE GEOLOGICAL SURVEY. Geochemistry Section. Isotope Geochemistry Laboratory	Urbana, SUA (Illinois)
IVAN	*INSTITUTE OF VOLCANOLOGY	Petropavlovsk - Kamceatski, Rusia
IWP	*INSTITUTE OF WATER PROBLEMS. Isotope Laboratory. Russian Academy of Sciences	Moscova, Rusia
JGS	*GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN. Marine Geology Department	Ibaraki, Japonia
JUBR	*BIREN ROY RESEARCH LABORATORY FOR ARCHAEOLOGICAL DATING. Department of Physics, Jadavpur University	Calcutta, India
K	*COPENHAGEN. National Museum. ^{14}C Dating Laboratory	Copenhaga, Danemarca

BCU "LUCIAN BLAGA" CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
KAERI	*KOREAN ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE. Reactor Chemistry Division	Daejeon City, Coreea (de Sud)
KCP	*DEPARTMENT OF CONSERVATION SCIENCE. National Cultural Property Research Institute, Seoul	Seul, Coreea
KI	*KIEL.Leibnitz Laboratory for Radionuclide Dating and Isotope Research. Christian Alberechts Universität	Kiel,Germania
KIEV	*Institute of Radiogeochemistry of the Environment. Ucrainian Academy of Sciences	Kiev, Ucraina
KN	*KÖLN. Universität Köln. Institut für Ur- und Frühgeschichte. Laboratorium für ^{14}C - Datierung	Köln. Germania
KR	*KRAKOW. Krakow Radiocarbon Laboratory. Environmental Physics Department. The Academy of Mining and Metallurgy	Cracovia. Polonia
KRIL	*KRASNOYARSK INSTITUTE OF FOREST AND WOOD. Radiocarbon Dating Laboratory. Russian Academy of Sciences. Krasnoyarsk	Krasnoiarsk. Rusia
KSU	*KYOTO SANGYO UNIVERSITY. Faculty of Science	Kita-ku, Kyoto, Japonia

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
	Kyusmu Environmental Evaluation Association, Fukuoka	Fukuoka, Japonia
L	xLAMONT. Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University	Palisades, SUA (New York)
	xLaboratorio TANDAR. Comisión Nacional del Energia Atómica	Buenos Aires, Argentina
LAR	xLIEGE STATE UNIVERSITY. Lab. d'application des radioéléments	Liège, Belgia
LE	x(LENINGRAD). Radiocarbon Laboratory.Institute of Archaeology. Russian Academy of Sciences	Sankt Petersburg, Rusia
LOD	xLODZ. Radiochemical Laboratory. Archaeological and Ethnographical Museum in Lódz	Lódz. Polonia
LP	xLA PLATA. Laboratorio de Tritio y Radiocarbono. Facultad de Ciencias Naturales y Museo	La Plata, Argentina
Lu	xLUND. Radiocarbon Dating Laboratory. University of Lund	Lund, Suedia
LU	x(LENINGRAD) ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY. Geographical Research Institute	Sankt Petersburg, Rusia
Lv	xLOUVAIN-LA-NEUVE. Université Catholique de Louvain. Laboratoire de Carbon 14	Louvain-la-Neuve Belgia

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
Ly	[x]LYON. Centre de Datation par le Radiocarbone. Université Claude Bernand-Lyon I	Villeurbanne-Lyon,
LZ	[x]LEIPZIG. Arbeitsgruppe Paläoklimatologie. Quartärzentrum der Universität Leipzig	Leipzig, Germania
MAG	[x]MAGADAN. Quaternary Geology and Geochronology Laboratory. Northeast Interdisciplinary Research Institute. Russian Academy of Sciences, Far East Branch, Magadan	Magadan, Rusia
MC	[x]MONACO. Laboratoire de Radioactivité Appliquée. Centre Scientifique de Monaco	Monaco, Principatul Monaco
METU	[x]MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY. Radiocarbon Dating Laboratory. METU Physics Department	Ankara, Turcia
MGU	[x]MOSCOW STATE UNIVERSITY. Laboratory of Recent Sediments and Pleistocene Paleogeography	Moscova, Rusia
ML	[x]MIAMI. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science. University of Miami	Miami, SUA (Florida)
Mo	VERNADSKI INSTITUTE OF GEOCHEMISTRY. Academy of Sciences of the USSR	Moscova, Rusia

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
MOC	*MOST. Archaeological Institute. Czech(oslovak) Academy of Sciences	Praga, Cehia
MRRI	MARINE RESOURCES RESEARCH INSTITUTE	Charleston, SUA (Carolina de Sud)
N	*NISHINA MEMORIAL (TOKYO). The Japan Radioisotope Association	Tokyo, Japonia
	*Nanjing Normal University. Department of Geography	Nanjing, China
	*Nanjing University. Department of Physics	Nanjing, China
	*National Atomic Energy Agency. Section Hydrology	Djakarta, Indonezia
NIST	*National Institute of Standards and Technology	Gaithersburg, SUA (Maryland)
NSTF	NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY FACILITY. State University of New York at Buffalo	Buffalo, SUA (New York)
NTU	*NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY. Department of Geology	Taipei, Taiwan
NU	*NIHON UNIVERSITY. Radiocarbon Dating Laboratory. Department of Geography	Tokyo, Japonia
Ny	NANCY. Laboratoire de Radiogéologie.	Nancy, Franța

BCU CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
	ENS de Géologie Appliquée et de Prospection Minière. Institut National Polytechnique de Lorraine	
NZ	^NEW ZEALAND. Institute of Geological and Nuclear Sciences. Rafter Radiocarbon Laboratory	Lower Hutt. Noua Zeelandă
OBDY	^ORSTOM. Géochimie Isotopique, Bondy	Bondy, Franța
	^Pacific Institute of Geography. Far East Scientific Centre. Russian Academy of Sciences	Vladivostok, Rusia
Pi	PISA. Laboratorio di Geologia Nucleare dell'Università. Dipartimento di Scienze della Terra	Pisa, Italia
PI	^PERMAFROST INSTITUTE. Siberian Branch. Russian Academy of Sciences	Jakutsk, Rusia
PIT	UNIVERSITY OF PITTSBURGH. Carbon-14 Lab.	Pittsburgh. SUA (Pennsylvania)
Pr	PRAGUE. Laboratory for Isotopes. Geochemistry and Geochronology. Geological Institute. Czech(oslovac) Academy of Sciences	Praga. Cehia
PRL	^PHYSICAL RESEARCH LABORATORY. Radiocarbon	Ahmedabad. India

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
	Dating Research Unit. Oceanography and Climate Studies Area. Navrangpura, Ahmedabad	
Pta	[x]PRETORIA. Natural Isotopes Division. National Physical Research Laboratory (EMATEK-CSIR)	Pretoria, Africa de Sud
Q	[x]CAMBRIDGE. University of Cambridge. Godwin Laboratory	Cambridge, Marea Britanie (Anglia)
QL	[x]QUATERNARY ISOTOPE LABORATORY. Department of Geological Sciences. University of Washington	Seattle, SUA (Washington)
QU	QUÉBEC. Centre de Recherches Minérales. Complexe Scientifique du Québec	Québec, Canada (Québec)
R	[x]ROME. Centro di Studio per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale. Dipartimento di Scienza della Terra. Università "La Sapienza", Roma și [x]Dipartimento di Fisica. Università "La Sapienza", Roma	Roma, Italia
RCD	[x]RADIOCARBON DATING. The Old Stables, East Lockinge	Wantage, Oxon, Marea Britanie (Anglia)

BCU Cluj / UNIVERSITY LIBRARY

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
	[x]Research Laboratory for Archaeology. Institute of Archaeology, Beijing	Beijing, China
Riga	[x]INSTITUTE OF SCIENCE - APPLICATION RESEARCH	Riga, Letonia
RL	RADIOCARBON, LTD	Lampasas, SUA (Texas)
Rome	[x]DEPARTMENT OF EARTH SCIENCES. University "La Sapienza" of Rome	Roma, Italia
RT	[x]REHOVOT. Department of Environmental Sciences and Energy Research. Weizmann Institute of Science, Rehovot	Rehovot, Israel
RU	RICE UNIVERSITY. Department of Geology	Houston, SUA (Texas)
S	[x]SASKATCHEWAN. Saskatchewan Research Council	Saskatoon, Canada (Saskatchewan)
	[x]Science Institute. University of Iceland	Reykjavik, Islanda
	[x]Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing	Nanjing, China
	[x]Seismological Bureau of Xianjiang Aut. Reg., Ürümai	Ürümai, China
SFU	SIMON FRASER UNIVERSITY. Archaeology Department	Burnaby, Canada (British Columbia)

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
SMU	SOUTHERN METHODIST UNIVERSITY. Institute for the Study of Earth and Man	Dallas, SUA (Texas)
SOAN	[x]UNITED INSTITUTE OF GEOLOGY, GEOPHYSICS AND MINERALOGY	Novosibirsk, Rusia
SRR	[x]SCOTTISH UNIVERSITIES RESEARCH AND REACTOR CENTRE. NERC Radiocarbon Laboratory	Glasgow, Marea Britanie (Scoția)
St	[x]STOCKHOLM. Laboratory for Isotope Geology. Swedish Museum of Natural History	Stockholm, Suedia
Su	[x]FINLAND. Geological Survey of Finland	Espoo, Finlanda
SUA	[x]SYDNEY UNIVERSITY, AUSTRALIA. The NWG Macintosh Centre for Qaternary Dating	Sidney, Australia
SWA	[x]SWANSEA. Department of Geography. University of Wales. Anterior: CAR (Cardiff)	Swansea, Marea Britanie (Țara Galilor)
T	[x]TRONDHEIM. Radiological Dating Laboratory. The Norwegian Institute of Technology	Trondheim, Norvegia
TA	[x]TARTU.Radiocarbon Laboratory. Institute of Zoology and Botany. Estonian Academy of Sciences	Tartu, Estonia

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
TAM	[x]TEXAS A & M UNIVERSITY. Department of Oceanography	College Station, SUA (Texas)
TB	[x]TBILISI. Radiocarbon Laboratory. Tbilisi University	Tbilisi, Gruzia
TK	[x]UNIVERSITY OF TOKYO.C-14 Dating Laboratory. University Museum (Shiryokan)	Tokyo, Japonia
TKU	[x]TURKU. Radiocarbon Dating Laboratory. University of Turku	Turku, Finlanda
Tln	[x]TALLINN. Radiocarbon Laboratory. Institute of Geology. Estonian Academy of Sciences	Tallinn, Estonia
TUNC	[x]TEHERAN UNIVERSITY NUCLEAR CENTRE	Teheran, Iran
	[x]Tunismail Atomic Research Center. Puspari-Prime Minister's Department, Bangi Selangor	Bangi Selangor, Malaysia
Tx	[x]TEXAS. Radiocarbon Laboratory. University of Texas at Austin	Austin,SUA (Texas)
U	[x]UPPSALA. Department of Physics. University of Uppsala	Uppsala, Suedia
UB	[x]BELFAST. Palaeoecology Centre. Radiocarbon Dating Laboratory. School of Geosciences. The Queen's University	Belfast, Marea Britanie (Irlanda de Nord)

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
UBAR	*UNIVERSITY OF BARCELONA. Radiocarbon Laboratory. Dept. Quimica Analitica	Barcelona, Spania
UCI	*UNIVERSITY OF CALIFORNIA, IRVINE. Radiocarbon Laboratory. Department of Earth System Science	Irvine, SUA (California)
UCLA	*UNIVERSITY OF CALIFORNIA, LOS ANGELES. Archaeology Department. Institute of Geophysics and Planetary Physics	Los Angeles, SUA (California)
UCR	*UNIVERSITY OF CALIFORNIA, RIVERSIDE. Department of Anthropology. Institute of Geophysics and Planetary Physics	Riverside, SUA (California)
UD	*UDINE. Centro di Ricerca Applicata e Documentazione	Udine, Italia
UGa	*THE UNIVERSITY OF GEORGIA. Center for Applied Isotope Studies	Athens, SUA (Georgia)
UGRA	*UNIVERSITY OF GRANADA. Laboratorio de Datación por Carbono-14. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias	Granada, Spania
UM	UNIVERSITY OF MIAMI. Department of Geological Sciences	Coral Gables, SUA (Florida)

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
UQ	*UNIVERSITY OF QUEBEC AT MONTREAL. Radiocarbon Laboratory	Montreal, Canada (Quebec)
USGS	*US GEOLOGICAL SURVEY	Menlo Park, SUA (California)
VRI	*VIENNA RADIUM INSTITUTE. Institut für Radiumforschung und Kernphysic. Universität Wien	Viena, Austria
W	*US GEOLOGICAL SURVEY. National Center	Reston, SUA, (Virginia)
WAT	*UNIVERSITY OF WATERLOO. Department of Earth Sciences. Isotopes Laboratory -	Waterloo, Canada (Ontario)
WHOI	WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION. Radiocarbon Laboratory. Department of Chemistry	Woods Hole, SUA (Massachusetts)
WIS	*WISCONSIN. Center for Climatic Research. University of Wisconsin - Madison	Madison, SUA (Wisconsin)
Wk	*UNIVERSITY OF WAIKATO. Radiocarbon Laboratory	Hamilton, Noua Zeelandă
WRD	US GEOLOGICAL SURWEY, WATER RESOURCES DIVISION. Isotope Hydrology Laboratory, National Center	Reston, SUA (Virginia)

Codul	Laboratorul	Localitatea,țara
WSU	WASHINGTON STATE UNIVERSITY. Department of Chemical and Nuclear Engineering	Pullman, SUA (Washington)
X	WHITWORTH COLLEGE. Department of Earth Science	Spokane, SUA (Washington)
XLLQ	xXIAN LABORATORY OF LOESS AND QUATERNARY GEOLOGY. Academia Sinica	Xian, China (Provincia Shaanxi)
Z	xZAGREB. Institute "Ruder Boškovic"	Zagreb, Croația

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

INSTALAŢII CU ACCELERATOR (AMS)

Codul	Laboratorul	Localitatea, ţara
AA	[x]NSF-ARIZONA AMS LABORATORY. Department of Physics. University of Arizona	Tucson, SUA (Arizona)
AAR	[x]UNIVERSITY OF AARHUS. Institute of Physics and Astronomy	Aarhus, Danemarca
ANSTO	[x]AUSTRALIAN NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION. ANTARES AMS Centre	Lucas Heights, Australia (New South Wales)
ANUA	[x]AUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY. Department of Nuclear Physics	Canberra, Australia
CAMS	[x]CENTER FOR ACCELERATOR MASS SPECTROMETRY. Lawrence Livermore National Laboratory	Livermore, SUA (California)
	[x]UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG. Physikalisches Institut	Erlangen, Germania
	[x]Dating and Materials Research Center. Nagoya University	Nagoya, Japonia
ETH	[x]ETH/ACCELERATOR MASS SPECTROMETER FACILITY. Institut für Teilchenphysik. Eidgenössiche Technische Hochschule Hönggerberg	Zürich, Elveţia

Codul	Laboratorul	Localitatea, țara
GifA	*GIF-SUR-YVETTE TANDETRON AMS FACILITY. Centre des Faibles Radioactivités	Gif-Sur-Yvette, Franța
GrA	*GRONINGEN. Centre for Isotope Research. University of Groningen	Groningen, Olanda
KIA	*KIEL. Leibniz Laboratory for Radionuclide Dating and Isotope Research. Christian Albrechts Universität	Kiel, Germania
NSRL	*NUCLEAR STRUCTURE RESEARCH LABORATORY. Rochester Tandem Electrostatic Accelerator System. University of Rochester	Rochester, SUA (New York)
NZA	*NEW ZEALAND. Rafter Radiocarbon Laboratory. Nuclear Sciences Group. Institute of Geological and Nuclear Sciences, Ltd.	Lower Hutt, Noua Zeelandă
OxA	*OXFORD RADIOCARBON ACCELERATOR UNIT. Research Laboratory for Archaeology and the History of Art. Oxford University	Oxford, Marea Britanie (Anglia)
PKU	*PEKING UNIVERSITY. Department of Technical Physics. Institute for Heavy Ion Physics	Beijing, China
PRIME	*PURDUE RARE ISOTOPE MEASURMENT LABORATORY. Purdue University	West Lafayette, SUA (Indiana)

Codul	Laboratorul	Localitatea, tara
QLA	UNIVERSITY OF WASHINGTON ACCELERATOR MASS SPECTROMETRY FACILITY. Nuclear Physics Laboratory. Department of Physics	Seattle, SUA (Washington)
RIDDL	SIMON FRASER UNIVERSITY RIDDL GROUP. Archaeology Department	Burnoby, Canada (British Columbia)
	Shanghai Institute of Nuclear Research. Academia Sinica	Shanghai, China
TO	ISOTRACE RADIOCARBON FACILITY. IsoTrace Laboratory. University of Toronto	Toronto, Canada (Ontario)
Ua	UPPSALA TANDEM ACCELERATOR LABORATORY. University of Uppsala	Uppsala, Suedia
UtC	UTRECHT R. J. Van de GRAAFF LABORATORIUM. Rijksuniversiteit Utrecht	Utrecht, Olanda
WHAMS	WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION. National Ocean Sciences AMS Facility. McLean Laboratory	Woods Hole, SUA (Massachusetts)

BCU CLUJ CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BIBLIOGRAFIE

În cursul celor aproape cinci decenii care au trecut de la prima prezentare a noului procedeu de datare (W.F.Libby, E.C. Anderson, J.R. Arnold, *Age determination by radiocarbon content: World-wide assay of natural radiocarbon*, Science, 109, 1949, p.227-228; J.R.Arnold, W.F.Libby, *Age determinations by radiocarbon content. Checks with samples of known age*, *ibidem*, 110, 1949, p.678-680) și de la publicarea primei sinteze privind metoda C-14 (W.F. Libby, *Radiocarbon Dating*', University of Chicago Press, 1952) s-a acumulat o impresionantă literatură (cărți, studii, articole, comunicări) despre datarea radiocarbon și aplicarea ei în arheologie. Îmbogățirea literaturii de specialitate a făcut necesară, după un timp, întocmirea unor bibliografii, pentru a înlesni orientarea celor interesați în acest domeniu, din ce în ce mai vast, implicând diverse ramuri ale unor științe, la prima vedere îndepărtate unele de altele. Prima bibliografie a apărut după un deceniu de aplicare a metodei, în primul număr al publicației *Radiocarbon*, editat, ca și cel de al doilea, ca un *Supliment* al revistei *American Journal of Science* (F. Johnson, *A bibliography of Radiocarbon Dating*, American Journal of Science. Radiocarbon Supplement 1, 1959, p.199-214). Recent, a fost publicată bibliografia adnotată a primilor 21 de ani ai aplicării datării C-14, bibliografie ce urmează să fie continuată prin noi volume (*Radiocarbon Dating Literature: The First 21 Years 1947-1968. Annotated Bibliography*. Compiled by Dilette Polach. Academic Press Inc., San Diego, California, 1988, 370

p. Vezi recenzia semnată de Bruce Rippeteau, *Radiocarbon*, 31, 1989, 1, p.211-212).

Bibliografia de față este, evident, una selectivă. După unele lucrări generale, privind metoda în ansamblu, vom menționa altele, relative la anumite probleme speciale, tratate în capitolele cărții. Cititorul interesat va găsi în fiecare lucrare, menționată aici, noi surse de informații.

Dintre lucrările generale, publicate după cartea amintită mai sus a lui W.F. Libby (ed. a doua: 1955, ed. a treia: 1965) menționăm volumul colectiv *Radiocarbon Dating* (ed. by R.Berger and H.E.Suess), University of California Press, 1979.; cartea deja citată (în Cuvânt înainte) a lui W.G. Mook și H.T.Waterbolk, *Radiocarbon Dating* (Handbooks for Archaeologists, No.3), Strasbourg, 1985.; și capitolele relative la metoda ^{14}C, cuprinse în volume tratând metodele de datare sau aplicarea, în general, a științelor exacte în arheologie: E.H.Willis, în: *Science in archaeology* (ed. by D.Brothwell and E. Higgs), New York, 1970; E.K. Ralph, în: *Dating techniques for the archaeologist* (ed. by H.N. Michael and E.K. Ralph), Cambridge, Massachusetts, 1971; J.W. Michels, *Dating methods in archaeology*, New York - London, 1973; M. J. Aitken, *Physics and archaeology*[2], Oxford, 1974; H. Quitta, în *Wege zur Datierung und Chronologie der Urgeschichte* (Hrsg. F. Schlette), Halle-Berlin, 1975; W. Rauert, în *Methoden der Archäologie* (Hrsg. B. Hrouda), München, 1978; P.R. Giot et L. Langouet, *La datation du passé. La mesure du temps en archéologie*, Rennes, 1984. A se vedea și studiile: H.T. Waterbolk, *Working with radiocarbon dates*, Actes du VIII[e] Congrès International UISPP, I. Beograd, 1971, p. 11-24 și Proceedings of the Prehistoric Society, 37, 1971, p. 15-33; R.

Burleigh, *Radiocarbon Dating: some pratical considerations for the archaeologist*, Journal of Archaeological Science, 1974, 1, p.69-87; R.Berger, *Radiocarbon dating in the prehistoric past: accuracy and limitations*, IX[e] Congrès International UISPP, Colloque I, Nice, 1976, p.21-38; É.Csongor, *Archaeological ^{14}C dating, absolute chronology*, Mitteilungen des Arch. Inst. Budapest, 14, 1985, p.299-306 + 3 plates. O trecere în revistă a noilor probleme ale metodei: M.F.Pazdur, *Modern aspects of radiocarbon dating method: fundamental concepts and archaeological application*, Arheologia Moldovei, XV, 1992, p.191-211. Dintre Actele numeroaselor conferințe radiocarbon (cele organizate între 1963 și 1985 sunt înșirate la W.G. Mook și H.T. Waterbolk, *op. cit.*, p.64-65) ne-a fost deosebit de util substanțialul volum (525p.) *Proceedings of the First International Symposium "^{14}C and Archaeology", Groningen, 1981 (ed. by W.G.Mook and H.T. Waterbolk)* = PACT - Journal of the European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, 8, Strasbourg (Council of Europe), 1983, volum dedicat memoriei lui W.F. Libby și H. de Vries, pentru contribuțiile lor de pionierat la elaborarea datării radiocarbon. Întreaga evoluție în cursul ultimelor patru decenii a datării ^{14}C poate fi urmărită în paginile publicației *Radiocarbon* care, începând cu anul (vol.) 3, 1961, apare ca o revistă de sine stătătoare, editată de Yale University, New Hawen (Connecticut, SUA).

1. **Introducere.** Despre S.Korff: C.J. Heusser, *Serge Alexander Korff 1906-1989* (necrolog), Radiocarbon, 32, 1990, 1, p.V; despre W.F. Libby: Rainer Berger, *Willard Frank Libby 1908-1980*, PACT, 8, 1983, p.13-16. Începuturile aplicării metodei C-14 în Europa și poziția arheologilor: H.T. Waterbolk,

Thirty years of radiocarbon dating; the retrospective view of a Groningen archaeologist, PACT, 8, 1983, p.17-27. În legătură cu noțiunea de "revoluția radiocarbon" vezi A.C. Renfrew, *The Tree-Ring Calibration of Radiocarbon: an Archaeological Evaluation*, Proceedings of the Prehistoric Society, XXXVI, 1970, p.280-310; idem, *Before Civilisation: the Radiocarbon Revolution and Prehistoric Europe*, London, 1973. Costul determinărilor cronologice ^{14}C a fost indicat după datele menționate de P.R.Giot și L.Langouet, *op. cit.* (1984), p.113; Tarifele pentru 1995 și 1996, difuzate de *Laboratoire Romand de Dendrochronologie* (Moudon, Elveția); Prospectele puse la dispoziție cu ocazia Congresului XIII. UISPP (Forli, Italia, sept. 1996) de *Beta Analytic Inc., Radiocarbon Dating Services* (Miami, Florida, SUA). Efectul combustibilului fosil și al experiențelor nucleare, primele dovezi experimentale cu privire la oscilațiile în trecut ale concentrației ^{14}C atmosferice: H.E. Suess, *Radiocarbon concentration in modern wood*, Science, 122, 1955, p.415-417; H. de Vries, *Variation in concentration of radiocarbon with time and location on earth*, Konikl. Nederlandse Akad. Wetensch. Proc. Ser. B., 61, 1958, p.1-9; E.H. Willis, H. Tauber, K.O. Münnich, *Variations in the atmospheric radiocarbon concentration over the past 1300 years*, Radiocarbon, 2, 1960, p.1-4.

2. **Datarea radiocarbon convențională**

În legătură cu problemele complexe privind datarea diferitelor materiale de origine terestră și oceanică (inclusiv fracționarea izotopului și efectul rezervorului dinamic), rolul mostrelor în determinările cronologice ^{14}C, vezi: J. Evin, *Critères de choix des échantillons pour la datation par le radiocarbone*, BSPF, 72, 1977, 5, p.135-138; idem, *Materials of*

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI

terrestrial origin used for radiocarbon dating - *Les matériaux d'origin terrestre utilisés pour les datations par le radiocarbone*, PACT, 8, 1983, p.235-276; Ingrid V. Olsson, *Dating non-terrestrial materials*, *ibidem*, p. 277-294; H.Tauber, *^{14}C dating of uman beings in relation to dietary habits*, *ibidem*, p.365-375; H.T. Waterbolk, *Ten guidelines for the archaeological interpretation of radiocarbon dates*, *ibidem*, p. 57-70. Pentru problemele speciale ale datării unor materiale: A. Simonsen, *Procedures for sampling, sorting and pretreatment of charcoal for ^{14}C dating*, PACT, 8, 1983, p.313-318 (cărbune de lemn); R. Berger, A.G. Horney, W.F. Libby, *Radiocarbon dating of bone and shell from their organic components*, Science, 144, 1964, p.999-1001; (os, cochilii); H.Barker, *Radiocarbon dating of bone*, Nature, 213, 1967, p.415; R. Longin, *New method of collagen extraction for radiocarbon dating*, *ibidem*, 230, 1971, p. 241-242; N. Horvatincic, D. Sredoc, B.Obelic, A. Sliepcevic, *Radiocarbon dating of fossil bones; development of a new technique for sample processing*, PACT, 8, 1983, p.377-384 (os); G. Delibrias, J. Labeyrie, *The dating of mortar by the ^{14}C method*, VI^{e} Conf. Int. Radiocarbone. Prétirage du compte-rendu, 1965, p.344-347 (*apud* J. Evin, PACT, 8, 1983, p.256); M.S. Baxter, A.Walton, *Radiocarbon dating of mortars*, Nature, 225, 1970, p.937-938; M. van Strydonck, M. Dupas, M. Dauchot - Dehon, *Radiocarbon dating of old mortars*, PACT, 8, 1983, p.337-343 (mortar); S. De Atley, *Radiocarbon dating of ceramic materials: progress and prospects*, Radiocarbon, 22, 1980, p.532-536 (ceramică); N. J. Van der Merwe, *The Carbon-14 Dating of Iron*, University of Chicago Press, 1969 (*apud* R. Burleigh, *op. cit.*, p.84) (fier). O temeinică trecere în revistă a diferitelor aspecte fizice și chimice ale datării ^{14}C,

discutate în acest capitol (dezintegrarea radioactivă, măsurarea radioactivității, stabilirea vârstei mostrelor etc.): W.G. Mook, H.J. Streurman, *Physical and chemical aspects of radiocarbon dating*, PACT, 8, 1983, p.31-55. Despre timpul de înjumătățire: H.Godwin, *Half-life of radiocarbon*, Nature, 195, 1962, p.984; F. Johnson, *Half-life of radiocarbon*, Science, 149, 1965, p.1326. Timpul de măsurare a mostrelor prelevate din ambarcațiunile gallo-romane de la Hensies-Pommeroeul a fost citat după M.Dauchot-Dehon, M. Van Strydonck, *Datation d'un sit portuaire gallo-romain*, PACT, 8, 1983, p.465-467. Lucrarea citată a lui E. Neustupný în cap. 2.3.3: *Absolute chronology of the neolithic and aeneolithic periods in Central and South-Eastern Europe*, Slovenská Archeologia, 16, 1968, 1, p.19-60. Măsurarea mostrelor cu masă redusă: R.L. Otlet, G.W. Evans, *Progress in the application of miniature gas counters to radiocarbon dating of small samples*, PACT, 8, 1983, p.213-222. Datarea prin tehnica numărării atomilor (AMS): C.L. Bennett, R.P. Beukens, M.R. Clover, D.Elmore, H.E. Gove, L. Kilius, A.E. Litherland, K.H. Purser, *Radiocarbon Dating with Electrostatic Accelerators: Dating of Milligram Samples*, Science, 201, 1978, p.345-346; H.E. Gove, D. Elmore, R.D. Ferraro, R.P. Beukens, K.H. Chang, L.R. Kilius, H.W. Lee, A.E. Litherland, K.H. Purser, M. Rubin, *Radiocarbon dating with tandem electrostatic accelerators*, Radiocarbon, 22, 1980, p.785-793; R.E. Hedges, *^{14}C dating by the accelerator technique*, PACT, 8, 1983, p.165-175; R.P. Beukens, *Radio isotope dating using tandem accelerators, ibidem*, p.177-184; J.Beer, M. Andrée, R. Balzer, G. Bonani, Ch. Stoller, M. Suter, W. Wölfli, *^{14}C dating with an EN tandem: first results, ibidem*, p.185-193. Despre acuratețea datărilor radiocarbon (inclusiv

rezultatele programelor internaționale de măsurare/datare a unor mostre multiplicate): R. Nydal, *Optimal number of samples and accuracy in dating problems*, PACT, 8, 1983, p.107-122; M.S. Baxter, *An international tree ring replicate study*, *ibidem*, p. 123-132; E.M. Scott, M.S. Baxter, T.C. Aitchinson, *^{14}C dating reproductibility: evidence from a combined experimental and statistical programme*, *ibidem*, p.133-145; A. Long, *From the Editor. Summary of the International Workshop on Intercomparison of ^{14}C Laboratories*, Radiocarbon, 32, 1990, 1, p.III; M.S. Baxter, *International Workshop of Intercomparison of Radiocarbon Laboratories. Welcome. The Aims. The Programme*, *ibidem*, 32, 1990, 3, p.253-255; E.M. Scott, M.S. Baxter, T.C. Aitchinson, D.D. Harkness, G.T. Cook, *An overview of some Interlaboratory Studies*, *ibidem*, p. 259-265; T.C. Aitchinson et al., *Report on stage 3 of the International Collaborative Program*, *ibidem*, p. 271-278; E.M. Scott et al., *An overview of all three stages of the International Radiocarbon Intercomparison*, *ibidem*, p.309-319.

3. **Calibrarea datelor radiocarbon**

Lucrările relative la primele observații privind variațiile în trecut ale concentrației C-14 atmosferice au fost menționate *supra* (1. Introducere). Oscilațiile naturale ale concentrației ^{14}C și problemele corecției datărilor radiocarbon au fost discutate în cadrul celui de al XII-lea Simpozion Nobel (Uppsala, 11-15 august 1969), al carui președinte de onoare a fost W.F. Libby și la care au participat 40 de specialiști din toată lumea. Vezi: *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*. Proceedings of the 12th Nobel Symposium, Upssala, 1969 (ed. by Ingrid V. Olsson). Stockholm, 1970. O dare de seamă despre lucrările acestui simpozion: E. Neustupný, *A new epoch in radiocarbon*

dating, Antiquity, 44, 1970, 173, p.38-45. Dintre contribuțiile cuprinse în volum menționăm: M. Stuiver, *Long-term C 14 variations*, p. 197-214; C.W. Ferguson, *Dendrochronology of bristlecone pine, Pinus aristata. Establishment of a 7484 - year chronology in the White Mountains of eastern - central California, USA*, p. 237-261; J.C. Lerman, W.G. Mook, J.C. Vogel, *C-14 in tree - rings from different localities*, p. 275-302; H.E. Suess, *Bristlecone pine calibration of the radiocarbon time - scale 5200 BC to the present*, p. 303-313; V. Bucha, *Influence of the earth's magnetic field on radiocarbon dating*, p.501-510; R.E. Lingenfelter, R. Ramaty, *Astrophysical and geophysical variations in C-14 production*, p. 513-538. O culegere de studii privind calibrarea și cronologia preistorică: *Radiocarbon calibration and Prehistory* (ed. Trevor Watkins), Edinburg, 1975. Măsurătorile ^{14}C ale lui H.E. Suess pe mostre de lemn datate dendrocronologic și confirmarea "zigzagurilor lui Suess": H.E. Suess, *La Jolla measurements of radiocarbon in tree-ring dated wood*, Radiocarbon, 20, 1978, p.1-18; A.F.M. de Jong, W.G. Mook, B. Beccker, *Confirmation of the Suess wiggles: 3200-3700 BC*, Nature, 280, 1979, p.48-49. Oscilațiile concentrației ^{14}C pe termen mijlociu și scurt: A.F.M. de Jong, W.G.Mook, *Medium-term atmospheric* ^{14}C *variations*, Radiocarbon, 22, 1980, p.267-272; J.G. Farmer, M.S. Baxter, *Short-term trends in natural radiocarbon*, Radiocarbon Dating. 8th International Conference, Lower Hutt, New Zealand, 18-25 October 1972 (eds. T.A. Rafter, T. Grant-Taylor), Wellington, 1973, p.74-85 (*apud* M.J. Aitken, 1974, References). Dintre lucrările privitoare la calibrare, cuprinse în volumul deja citat, PACT, 8, 1983, am apelat la: M. Stuiver, *Calibration of the radiocarbon time scale*, p.493-501; B. Becker, *Prehistoric*

dendrochronology for archaeological dating: Hohenheim oak series present to 1800 BC, p.503-510; M. Bruns, M. Rhein, T.W. Linick, H.E. Suess, *The atmospheric ^{14}C level in the 7th millenium BC*, p.511-516; M.G. Mook, *^{14}C calibration curves depending on sample time-width*, p.517-525. Pentru primele curbe de calibrare vezi: Suess, *op. cit.*, (1970); E.K. Ralph, H.N. Michael, M.C. Han, *Radiocarbon dates and reality*, MASCA, Newsletter, 9, 1973, p.1-18; P.E. Damon, A. Long, E.I. Wallick, *Dendrochronology calibration of the carbon-14 time scale.* Radiocarbon Dating. 8 th International Conference, Lower Hutt, New Zealand, 1972 (eds. T.A. Rafter, T. Grant-Taylor), Wellington, 1973. (Ultimele două titluri: *apud* M.J. Aitken, *op. cit.*, 1974, References). Calibrarea datelor radiocarbon cu aceste procedee a fost ilustrată după V.R. Switsur, D.H. Trump, *A radiocarbon chronology for the early prehistory of Sardinia*, PACT, 8, 1983, p.453-464 (grota Filiestru); É.Csongor, I. Bognár-Kutzián, I.Szabó, E.Hertelendi, *Radiocarbon dating of holocene bone samples in Hungary*, *ibidem*, p.385-390; É. Csongor, *op. cit.* (1985) (Tiszapolgár-Basatanya; Pilismarót-Basaharc. Monografia culturii Tiszapolgár: I. Bognár-Kutzián, *The Early Cooper Age Tiszapolgár Culture in the Carpathian Basin*, Budapest, 1972); Datele radiocarbon pentru Troia: H. Quitta, *Zur Chronologie der frühbronzezeitlichen Troja-schichten*, Troja und Thrakien. Katalog zur Ausstellung, Berlin-Sofia, f.a., p.21-29. Datarea portului și a ambarcațiunilor gallo-romane de la Hensies-Pommeroeul: M. Dauchot-Dehon, M. Van Stridonck, *op. cit.* (1983). Compararea procedeelor de calibrare MASCA și P.E. Damon și colab.: după M.J. Aitken, *op. cit.* (1974), tabelul 2.3.

În ceea ce privește sistemele de calibrare mai recente, pentru curba lui M. Stuiver vezi: M. Stuiver, *A high precision calibration of the AD radiocarbon timescale,* Radiocarbon, 24, 1982, p.1-2; idem, *op. cit.* (1983). Curba lui G.W. Pearson și colab.: G.W. Pearson, J.R. Pilcher, M.G.L. Baillie, *High-precision ^{14}C measurement of Irish Oaks to show the natural ^{14}C variations from 200 BC to 4000 BC,* Radiocarbon, 25, 1983, 2, p.179-186. (Calibrarea datelor radiocarbon 2680±50 și 2450±50: după W.E. Stöckli, *Einleitung - Introduction,* în *Chronologie. Archäologische Daten der Schweiz - Datation archéologique en Suisse.* Antiqua 15, Basel, 1986, p.11, fig.1.) Procedeul lui W.G. Mook și colab.: după W.G. Mook, *op. cit.* (1983). Tabelul de corecție al "grupului de la Tucson": J.Klein, J.C. Lerman, P.E. Damon, E.K. Ralph, *Calibration of radiocarbon dates: tables based on the consensus data of the Workshop on calibrating the radiocarbon time scale,* Radiocarbon, 24, 1982, p.103-150. Versiunea franceză (cu un *Cuvânt înainte* de J. Evin, G. Delibrias și Y. Thommeret): *Les tableaux de corrections des dates ^{14}C effectués par le "groupe de Tucson",* Revue d'Archéometrie. Supplément 1983, p.1-46.

Noile contribuții, relative la calibrare, publicate în numărul special al revistei *Radiocarbon,* 28, 1986, 2B (citate în capitolul 3.2.4): M. Stuiver, *Editorial comment,* p. II; M. Stuiver, G.W. Pearson, *High-precision calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950-500 BC,* p.805-838; G.W. Pearson, M. Stuiver, *High-precision calibration of the radiocarbon time scale, 500-2500 BC,* p.839-862; M. Stuiver, B. Becker, *High-precision decadal calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950-2500 BC,* p.863-910; G.W. Pearson, J.R. Pilcher, M.G.L. Baillie, D.M. Corbett, F. Qua, *High-precision*

^{14}C measurment of irish oaks to show the natural ^{14}C variations from AD 1840 to 5210 BC, p.911-934; J.C. Vogel, A. Fuls, E. Visser, B. Becker, Radiocarbon fluctuations during the third millenium BC, p.935-938; A.F.M. de Jong, B. Becker, W.G. Mook, High-precision calibration of the radiocarbon time scale, 3930-3230 CAL BC, p.939-941; T.W. Linick, A. Long, P.E. Damon, C.Wesley Ferguson† , High-precision radiocarbon dating of bristlecone pine from 6554 to 5350 BC, p.943-948; B.Kromer, M. Rhein, M. Bruns, H. Schoch-Fischer, K.O. Münnich, M. Stuiver, B. Becker, Radiocarbon calibration data for the 6th to the 8th millenia BC, p.954-960; B. Becker, B. Kromer, Extension of the holocene dendrochronology by the preboreal pine series, 8800 to 10000 BP, p. 961-967; M. Stuiver, B. Kromer, B. Becker†, C.W. Ferguson†, Radiocarbon age calibration back to 13300 years BP and the ^{14}C age matching of the german oak. and US bristlecone pine chronologies, p.969-978; M. Stuiver,. G.W. Pearson, T. Braziunas, Radiocarbon age calibration of marine samples back to 9000 CAL yr. BP, p.980-1021.

Programe de calibrare computerizate: M. Stuiver, P.J. Reimer, A computer program for radiocarbon age calibration, Radiocarbon, 28, 1986, 2B, p.1022-1030; idem, User's guide to the Programs CALIB and DISPLAY. Rev 2.0 (Seattle, 7.23. 1987.); M. Stuiver, P.J. Reimer, Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program, Radiocarbon, 35, 1993, p.215-230; idem, CALIB User's Guide Rev 3.0.1. Extinderea curbei de corecție și această revizuire a programului de calibrare se bazează, în principal, pe noile contribuții, publicate în același volum (35, 1993) al revistei Radiocarbon: M. Stuiver, G.W. Pearson, High-precision bidecadal calibration

of the radiocarbon time scale, AD 1950-500 BC and 2500-6000 BC, p.1-23; G.W. Pearson, M. Stuiver, *High-precision bidecadal calibration of the radiocarbon time scale 500-2500 BC*, p. 25-33; M. Stuiver, B. Becker, *High-precision calibration of the radiocarbon time scale AD 1950-6000 BC*, p.35-65; G.W. Pearson, B. Becker, F. Qua, *High-precision 14C measurement of German and Irish oaks to show the natural 14C variations from 7890 to 5000 BC*, p.93-104; B. Kromer, B. Becker, *German Oak and Pine 14C calibration, 7200 BC - 9400 BC*, p.125-135; M. Stuiver, T.F. Braziunas, *Modeling atmospheric 14C influences and 14C ages of marine samples back to 10000 BC*, p.137-198; E. Bard, M. Arnold, R.G. Fairbanks, B. Hamelin, *230 Th - 234 U and 14C ages obtained by mass spectometry on corals*, p.191-199; B. Becker, *A 11000 year German Oak and Pine dendrochronology for radiocarbon calibration*, p.201-213. Un bilanț al utilizării de către English Heritage a programului de analiză și interpretare a datelor radiocarbon "OxCal", lansat în august 1994, a fost prezentat de A. Bayliss, C. Bronk Ramsey, *Some experiences of the routine use of mathematical modelling for the interpretation of radiocarbon evidence in England - the first two years*, la a 24-a Întrunire Anuala "Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology", Iași, March 1996 (vezi: Additional Abstracts).

Pentru cap.4. am ținut seama, mai ales, de recomandările cuprinse în lucrările deja citate ale lui P.R. Giot și L.Langouet (1984), W.G. Mook și H.T. Waterbolk (1985), M.F. Pazdur (1992). În ceea ce privește cantitățile de materiale necesare pentru datare am avut în vedere și masa solicitată de

unele laboratoare (Beta Analytic Inc. Radiocarbon Dating Services, Miami, Florida, SUA, de exemplu).

În capitolul 5, privind cronologia radiocarbon a preistoriei României, s-au făcut referiri la următoarele lucrări: P. Breunig, *^{14}C Chronologie des vorderasiatischen, südost- und mitteleuropäschen Neolithikums*, Köln-Wien, 1987; V. Chirica, *Datarea prin C^{14} a unor locuiri gravettiene de la Mitoc - Malu Galben (com. Mitoc, jud. Botoşani)*, SCIVA, 35, 1984, 1, p.74-79; idem, *La chronologie rélative et absolue des habitats Aurignaciens et Gravettiens de la Roumanie*. The Pleistocene Perspective, I. The World Archaeological Congress, Southampton and London, September 1986, p.1-24; Vl. Dumitrescu, *Poziţia arheologilor faţă de rezultatele metodei radiocarbonului*, SCIV, 9, 1958, 1, p.162-170; idem, *Cronologia absolută a eneoliticului românesc în lumina datelor C^{14}*, Apulum, 12, 1974, p.23-39; idem, *La cronologia dell'eneolitico Romeno alla luce degli esami C^{14}*, Preistoria Alpina, 10, 1974, p.99-105; Marija Gimbutas, *The civilisation of the Godess. The world of Old Europe*, San Francisco, 1991; K. Honea, *Tranziţii culturale în paleoliticul superior timpuriu şi cronostratigrafia de la Mitoc - Malu Galben (jud. Botoşani)*, Arheologia Moldovei, XVII, 1994, p.117-146; idem, *Ambiguities of Aurignacian - Gravettian surfaces at Mitoc - Malu Galben, Botoşani county, Middle Prut Valley: 39 ^{14}C and AMS radiocarbon values*, Memoria Antiquitatis, XX, 1995, p.173-183; A. László, *Le sud-est de la Transylvanie dans le néolithique. Nouvelles données et considérations*. The Fourth Millenium BC. Proceedings of the International Symposium Nessebur, 28-30

August 1992 (ed. by P. Georgieva), Sofia 1993, p.62-76; idem, *Dates radiocarbone et chronologie de la civilisation Noua-Sabatinovka-Coslogeni,* Culture et Civilisation au Bas Danube, X, 1993, p.23-41; idem, *Datari radiocarbon cu privire la perioada de trecere de la epoca bronzului la epoca fierului în regiunea nord-vest pontică,* AŞU Iaşi, XXXIX, 1993 (1995), p.9-23; C.M. Mantu, *Câteva consideraţii privind cronologia absoluta a neo-eneoliticului din România,* SCIVA, 46, 1995, 3-4, p.213-235; Vl. Milojcic, *Zur Anwendbarkeit der C^{14} Datierung in der Vorgeschichts- forschung,* Germania, 35, 1957, p.102-110; idem, *Die absolute Chronologie der Jungsteinzeit in Südosteuropa und die Ergebnisse der Radiocarbonmethode,* Jahrbuch RGZM, 14, 1970, p.9-37; idem, *Die C^{14} - Methode im Lichte der komparativ - stratigraphischen Befunde,* Actes du VIII[e] Congrès International des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, II, Beograd, 1973, p.3-11; D. Monah, *Datarea prin C^{14} a etapei Cucuteni A2,* SCIVA, 29, 1978, 1, p.33-41; idem, *La datation par C^{14} du complexe cultural Cucuteni-Tripolie,* La civilisation de Cucuteni en contexte européen (B.A.I.,I), Iaşi. 1987, p.67-79; D. Monah, Şt. Cucoş, D. Popovici, Gh. Dumitroaia, *Noi date C^{14} din nivelurile aparţinând culturii Precucuteni din staţiunea de la Poduri "Dealul Ghindaru", jud. Bacău,* Cercetări Arheologice (Bucureşti), VIII, 1986, p.137-142; Al. Păunescu, *Cronologia paleoliticului şi mezoliticului din România în contextul paleoliticului central-, est- şi sud-est european,* SCIVA, 35, 1984, 3, p.235-265; idem, *Ripiceni-Izvor. Paleolitic şi mezolitic.* Studiu monografic, Bucureşti, 1993; M. Petrescu-

Dîmboviţa, *Probleme der Cucuteni-Kultur im Lichte der neuen archäologischen Forschungen*, Acta Praehistorica et Archaeologica, 19, 1987, p.19-29; R. Pittioni, *Die Bedeutung der Radiocarbondaten für die Urgeschichte*, Anz. phil. hist. Kl. Österr, Akad. Wiss., 1957, p.233-248.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

927497